

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РФ
МЕЖДУНАРОДНАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ СОДЕЙСТВИЯ РАЗВИТИЮ
СТРОИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

СТРОИТЕЛЬСТВО

№ 4 (712)
Апрель 2018 г.

Научно-теоретический журнал
Издается с марта 1958 г.
Выходит один раз в месяц

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

П.А. Аббасов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., ДВФУ, Владивосток
В.Н. Азаров, д-р техн. наук, проф., ВГТУ, Волгоград
А.А. Афанасьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., НИУ МГСУ, Москва
М.И. Бальзаников, д-р техн. наук, проф., СГЭУ, Самара
А.А. Волков, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., НИУ МГСУ, Москва
В.А. Воробьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., МАДГТУ (МАДИ), Москва
В.Г. Гагарин, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., НИИСФ, Москва
М.А.о. Гаджиев, д-р техн. наук, проф., АУАС, Баку, Азербайджан
У. Гайсбаур, д-р – инж., Институт аэрогазодинамики, Университет Штутгарта, Германия
В.В. Дегтярев, д-р техн. наук, проф., НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск
Й. Деспотович, PhD, проф., Университет Белграда, Сербия
В.Т. Ерофеев, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., НИ МордГУ им. Н.П. Огарева, Саранск
Г.В. Есаулов, акад. РААСН, д-р архитектуры, проф., МАРХИ, Москва
В.И. Жаданов, д-р техн. наук, проф., ОГУ, Оренбург
М. Иветич, PhD, проф., Университет Белграда, Сербия
В.А. Игнатъев, д-р техн. наук, проф., ВГТУ, Волгоград
А.М. Караулов, д-р техн. наук, проф., СГУПС, Новосибирск
В.И. Колчунов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., ЮЗГУ, Курск
В.И. Костин, д-р техн. наук, проф. (*заместитель главного редактора*), НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск
Г.Б. Лебедев, канд. техн. наук, доц. (*заместитель главного редактора*), НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск
П. Либланг, д-р, проф., Высшая техническая школа, Университет прикладных наук, Кёльн, Германия
Л.С. Ляхович, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., ТГАСУ, Томск
В.М. Митасов, д-р техн. наук, проф., НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск
В.И. Морозов, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., СПБГАСУ, Санкт-Петербург
Ж.С. Нугузинов, д-р техн. наук, проф., КазМИРР, Караганда, Казахстан
Ю.П. Панибратов, акад. РААСН, д-р экон. наук, проф., СПБГАСУ, Санкт-Петербург
А.И. Полищук, д-р техн. наук, проф., КубГАУ, Краснодар
Г.И. Пустоветов, чл.-кор. РААСН, д-р архитектуры, проф., НГУАДИ, Новосибирск
Н.А. Сапрыкина, поч. чл. РААСН, д-р архитектуры, проф., МАРХИ, Москва
В.Г. Себешев, поч. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф. (*главный редактор*), НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск
Ю.Л. Сколупович, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск
И.С. Соболев, д-р техн. наук, проф., ННГАСУ, Нижний Новгород
Ю.А. Феофанов, д-р техн. наук, проф., СПБГАСУ, Санкт-Петербург
Й.В. Ху, PhD, проф., Национальный университет г. Инчхон, Республика Корея
Н.А. Цветков, д-р техн. наук, проф., ТГАСУ, Томск
Е.М. Чернышов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., ВГТУ, Воронеж
В.Р. Чупин, д-р техн. наук, проф., ИНИТУ, Иркутск
Е.Ч. Шин, PhD, проф., Национальный университет г. Инчхон, Республика Корея

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

Адрес редакции: 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113;
Тел. +7 (383) 266 28 59; www.izvuzstr.sibstrin.ru; E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

Чхум А., Митасов В.М., Данилов М.Н. Численное исследование напряженно-деформированного состояния железобетонной балки с организованной трещиной при действии длительных нагрузок	5
Василькин А.А., Щербина С.В., Денякова В.В. Автоматизированный поиск конструктивного решения структурной плиты покрытия минимальной массы методом регулирования НДС	19
Пономарев А.Б., Сурсанов Д.Н., Ержаковский Е.О. К вопросу определения несущей способности свай на заторфованных территориях	32

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Назирова Р.А., Зайцева Н.А., Веде П.Ю. Прогнозирование удельной эффективной активности естественной радиоактивности и эманулирующей способности многокомпонентных строительных материалов	42
Кара-сал Б.К., Серен Ш.В., Сат Д.Х. Клинкерный кирпич на основе нетрадиционных материалов	51

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА

Костин В.И., Ракова Е.А. Конструктивные схемы систем климатизации термомониторных помещений	59
Халтурина Т.И., Сколупович Ю.Л., Войтов Е.Л., Веснина Е.А., Маркин Н.И. Определение оптимальных режимов обработки хромсодержащих сточных вод реагентом Polyracs-PFS	68
Иваненко И.И., Пискунович Ю.И. Влияние новых композиционных реагентов на технологию глубокой биологической очистки городских стоков	77

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Атавин А.А., Овчинникова Т.Э., Тарасевич В.В. Выбор модели расчета распространения волн паводков и паводков на участке верхней Оби	88
---	----

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКОЛОГИИ

Дрожжин Р.А., Благиных Е.А. Методология и особенности реновации промышленных зон в индустриальных городах юга Западной Сибири	95
Ильичева Д.А. Анализ проектных предложений по реконструкции города Севастополя после Великой Отечественной войны и их применимость для современного развития города	104

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF RUSSIAN FEDERATION
INTERNATIONAL PUBLIC ORGANIZATION
“ASSOCIATION OF EDUCATIONAL
CIVIL ENGINEERING INSTITUTIONS”

NEWS OF HIGHER EDUCATIONAL
INSTITUTIONS

CONSTRUCTION

No. 4 (712)

April 2018

Scientific-theoretical journal
Published since March 1958
Monthly

EDITORIAL BOARD

P.A. Abbasov, Acad. RAACS, DSc (Eng), Prof., Vladivostok, Russia
V.N. Azarov, DSc (Eng), Prof., Volgograd, Russia
A.A. Afanas'yev, Corr. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Moscow, Russia
M.I. Bal'zannikov, DSc (Eng), Prof., Samara, Russia
A.A. Volkov, Corr. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Moscow, Russia
V.A. Vorob'yov, Corr. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Moscow, Russia
V.G. Gagarin, Corr. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Moscow, Russia
M.A.o. Hajiyev, DSc (Eng), Prof., Baku, Azerbaijan
U. Gaisbauer, Dr. – Ing., Institut für Aerodynamik und Gasdynamik, Universität Stuttgart, Germany
V.V. Degtyarev, DSc (Eng), Prof., Novosibirsk, Russia
J. Despotović, PhD, Prof., University of Belgrad, Serbia
V.T. Erofeev, Acad. RAACS, DSc (Eng), Prof., Saransk, Russia
G.V. Esaulov, Acad. RAACS, DSc (Architecture), Prof., Moscow, Russia
V.I. Zhadanov, DSc (Eng), Prof., Orenburg, Russia
M. Ivetić, PhD, Prof., University of Belgrad, Serbia
V.A. Ignat'ev, DSc (Eng), Prof., Volgograd, Russia
A.M. Karaulov, DSc (Eng), Prof., Novosibirsk, Russia
V.I. Kolchunov, Acad. RAACS, DSc (Eng), Prof., Kursk, Russia
V.I. Kostin, DSc (Eng), Prof. (*Deputy Editor-in-Chief*), Novosibirsk, Russia
G.B. Lebedev, PhD, Ass. Prof. (*Deputy Editor-in-Chief*), Novosibirsk, Russia
P. Lieblang, Dr., Prof., Technische Hochschule, Köln, Germany
L.S. Lyakhovich, Acad. RAACS, DSc (Eng), Prof., Tomsk, Russia
V.M. Mitasov, DSc (Eng), Prof., Novosibirsk, Russia
V.I. Morozov, Cor. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Saint-Petersburg, Russia
Zh.S. Nuguzhinov, DSc (Eng), Prof., Karaganda, Kazakhstan
Yu.P. Panibratov, Acad. RAACS, DSc (Econ), Prof., Saint-Petersburg, Russia
A.I. Polishchuk, DSc (Eng), Prof., Krasnodar, Russia
G.I. Pustovetov, Cor. Mem. RAACS, DSc (Architecture), Prof., Novosibirsk, Russia
N.A. Saprykina, Hon. Mem. RAACS, DSc (Architecture), Prof., Moscow, Russia
V.G. Sebeshev, Hon. Mem. RAACS, PhD, Prof. (*Editor-in-Chief*), Novosibirsk, Russia
Yu.L. Skolubovich, Cor. Mem. RAACS, DSc (Eng), Prof., Novosibirsk, Russia
I.S. Sobol', DSc (Eng), Prof., Nizhniy Novgorod, Russia
Yu.A. Feofanov, DSc (Eng), Prof., Saint-Petersburg, Russia
Jong Wan Hu, PhD, Prof., Incheon National University, Republic of Korea
N.A. Tsvetkov, DSc (Eng), Prof., Tomsk, Russia
Ye.M. Chernyshov, Acad. RAACS, DSc (Eng), Prof., Voronezh, Russia
V.R. Chupin, DSc (Eng), Prof., Irkutsk, Russia
Eun Chul Shin, PhD, Prof., Incheon National University, Republic of Korea

Responsible secretary N.V. Bitkina

The editorial office's address: 113 Leningradskaya St. Novosibirsk 630008 Russia;
Phone number +7 (383) 266 28 59; www.izvuzstr.sibstrin.ru; E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND STRUCTURES. BASES AND FOUNDATIONS

- Chhom A., Mitasov V.M., Danilov M.N.** Numerical study of the stress-strain state of reinforced concrete beam with pre-organized cracks under long-term loading 5
- Vasilkin A.A., Scherbina S.V., Denyakova V.V.** Automated search for the construction of a structural plate of minimum mass by the method of regulation of forces 19
- Ponomarev A.B., Sursanov D.N., Erzhakovskiy E.O.** To the question of determination of piles bearing capacity on peaty territories 32

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

- Nazirov R.A., Zaitseva N.A., Vede P.Yu.** Predicting specific effective activity of natural radioactivity and emanating capacity of multicomponent construction materials 42
- Kara-sal B.K., Seren Sh.V., Sat D.Kh.** Clinker bricks based on non-traditional materials 51

LIFE MAINTENANCE ENGINEERING SYSTEMS OF THE INHABITED LOCALITIES, BUILDINGS AND STRUCTURES. ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION

- Kostin V.I., Rakova E.A.** Constructive schemes of control systems of a microclimate of premises with the constant temperature of internal air 59
- Khalturina T.I., Skolubovich Yu.L., Voytov E.L., Vesnina E.A., Markin N.I.** Determination of the optimal treatment modes chrombased sewage by Polypacs-PFS reagent 68
- Ivanenko I.I., Piskunovich Yu.I.** Influence of new composite reagents on the technology of deep biological cleaning of urban wastewater 77

HYDRO-ENGINEERING CONSTRUCTION, HYDRAULICS AND ENGINEERING HIDROLOGY

- Atavin A.A., Ovchinnikova T.E., Tarasevich V.V.** Choice of the calculation model of high water and flood waves at the section of upper ob river 88

SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE, TOWN PLANNING AND ECOLOGY

- Drozhdzhin R.A., Blaginyh E.A.** Methodology and characteristics of the renovation of industrial zones in the industrial cities of the south of Western Siberia 95
- Il'icheva D.A.** Analysis of the projects for the city of Sevastopol reconstruction after the second world war and their use for modern city development 104

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ



УДК 624.012.45

А. ЧХУМ, В.М. МИТАСОВ, М.Н. ДАНИЛОВ

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ С ОРГАНИЗОВАННОЙ ТРЕЩИНОЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК*

Выполнено численное моделирование процесса деформирования и разрушения железобетонных балок с заранее организованными трещинами и без организованных трещин при действии кратковременной и длительной нагрузок. Выявлены особенности изменения напряженно-деформированного состояния балки в процессе деформирования и основные факторы, определяющие процесс разрушения балки. Эффекты от введения организованных трещин, наблюдаемые в физических экспериментах, подтверждены численным экспериментом. Проведен сравнительный анализ экспериментальных данных и результатов численного моделирования.

Ключевые слова: железобетонная балка, заранее организованные трещины, ползучесть, трещинообразование, кратковременные нагрузки, длительные нагрузки.

Трещинообразование в железобетонных конструкциях является главной проблемой, осложняющей их проектирование и эксплуатацию. Решение этой задачи позволит повысить надежность железобетонных конструкций и увеличить сроки их эксплуатации [1, 2]. В разные годы исследованием особенностей деформирования и разрушения железобетонных конструкций с целью предотвращения появления в них трещин и уменьшения возможной ширины их раскрытия занимались многие отечественные и зарубежные ученые, такие как А.А. Гвоздев, Н.И. Карпенко, В.М. Митасов, И.Н. Ахвердов, К.Ж. Willam, Z.P. Bazant и др. Однако проблема до конца не решена и остается актуальной по настоящее время.

Известно, что образование трещины является быстропротекающим процессом – рост трещины происходит со скоростью, близкой к скорости распространения звука в среде или даже превышающей ее. Например, при деформировании железобетонной балки трещины образуются в растянутой зоне. Появление трещины можно представить как мгновенный разрыв бетона, который приводит к возникновению упругих волн в бетоне и колеба-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-31-00103, 2018 г.).

тельному движению балки. Динамические процессы, инициированные появлением трещин в бетоне, оказывают влияние на развитие существующих и приводят к появлению новых трещин. В настоящее время эти динамические эффекты подтверждены и описаны в работах различных исследователей [3–5].

Интенсивность колебательного движения балки определяется многими факторами – размером образовавшейся трещины, конструкцией балки, величиной нагрузки и схемой нагружения и физико-механическими свойствами материалов. Железобетонные конструкции подвержены трещинообразованию при действии не только кратковременных, но и длительных статических нагрузок. В статически нагруженной конструкции динамические эффекты проявляются в меньшей степени, однако они также оказывают существенное влияние на процесс трещинообразования. При действии длительных статических нагрузок в железобетонных конструкциях наблюдаются эффекты ползучести, которые тесно связаны с процессом трещинообразования. С одной стороны, образование трещин приводит к перераспределению напряжений в конструкции, что в свою очередь влияет на развитие необратимых деформаций ползучести. С другой стороны, развитие деформаций ползучести может вызывать образование трещин.

Таким образом, традиционные теории сопротивления железобетона, не учитывающие динамические эффекты, имеют существенные недостатки и требуют совершенствования. В 1988 г. В.М. Митасовым была опубликована одна из первых работ [6] на тему оценки напряженно-деформированного состояния сечения с трещиной. Затем последовал цикл работ, положивших начало созданию энергетической теории сопротивления железобетона [7–8], учитывающей описанные эффекты. На основе энергетической теории была выдвинута гипотеза, согласно которой интенсивность процесса трещинообразования уменьшается при снижении уровня кинетической энергии, что в случае балок достигается введением в растянутую зону заранее организованных трещин. С целью подтверждения этой гипотезы были проведены теоретические [9] и экспериментальные [10] исследования.

Однако методики экспериментального исследования процессов трещинообразования в железобетонных конструкциях далеки от совершенства. Поэтому необходимо проведение дополнительных исследований на основе численного моделирования процессов деформирования и разрушения конструкций. В настоящее время существует большое количество современных конечно-элементных программных комплексов для решения поставленной задачи, среди которых можно выделить, например, ANSYS Mechanical и Abaqus, которые отличаются наличием универсальных математических моделей, описывающих процессы неупругого деформирования бетона.

Численное моделирование процесса деформирования железобетонных конструкций сопряжено с рядом трудностей:

- 1) нарушение сплошности среды в процессе деформирования (появление трещин);
- 2) неоднородность структуры материала (бетон является структурно-неоднородным материалом, его структура изменяется при образовании трещин);

3) нарушение сцепления бетона с арматурой и проскальзывание арматуры;

4) динамические эффекты при образовании трещин.

Основной нерешенной научной проблемой численного моделирования указанных процессов является учет динамических эффектов при образовании трещин. Существующие методы, например [11], в большинстве своем применимы только для моделирования развития одиночных трещин, причем они позволяют моделировать только быстропротекающие процессы, продолжительностью не более нескольких миллисекунд. В данной работе требуется выполнить моделирование развития трещин в балке нагруженной не изменяющейся в течение 86 ч нагрузкой. В настоящее время не существует методов численного моделирования поставленной задачи с учетом динамических эффектов.

Основным методом исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций является метод конечных элементов (МКЭ) [12], предназначенный для решения задач механики сплошных сред. Однако при образовании трещин сплошность среды нарушается. Необходимость учета трещинообразования в бетоне привела к возникновению ряда подходов и методов моделирования трещин в рамках МКЭ. Одним из таких методов является расширенный метод конечных элементов [13] – это метод, объединяющий классический МКЭ с функциями для представления разрывов в поле перемещений. Другой метод – модель когезионной зоны [14] – используется при моделировании развития трещин по заранее определенной траектории. Широко применяются и активно развиваются бессеточные методы, такие как метод гладких частиц [15], метод разрушаемых частиц [16] и др.

В настоящее время происходит активное развитие относительно новой теории, которая получила название перидинамика [17]. Теория перидинамики основана на интегральных уравнениях, в отличие от классической механики сплошных сред, основанной на дифференциальных уравнениях в частных производных. Учитывая, что частные производные не существуют для несплошных сред, классические уравнения механики сплошных сред не могут быть применены напрямую при решении задач об образовании трещин. Интегральные уравнения теории перидинамики могут использоваться напрямую, потому что не требуют непрерывности решения. Существуют и другие методы моделирования трещин. Однако ни один из представленных выше методов не используется инженерами на практике для решения конкретных проектных задач ввиду их чрезмерной сложности. На данный момент эти методы продолжают развиваться и применяются в основном при решении отдельных научных задач.

Изменение структуры материала при трещинообразовании приводит к изменению его упругих характеристик в процессе деформирования. Развитие трещин в таком материале не поддается детерминированному прогнозированию из-за сложности его внутренней структуры. Поэтому модели, описывающие изменение структуры бетона в процессе деформирования, отсутствуют. Однако для решения практических задач успешно применяются различные феноменологические модели.

Цель работы – исследование особенностей деформирования и разрушения железобетонных балок с заранее организованными трещинами и без организованных трещин при действии кратковременной и длительной нагрузок на основе численного моделирования с применением современных конечно-элементных программных комплексов. Численное исследование нацелено на подтверждение гипотезы о том, что введение организованных трещин в растянутую зону балок, нагруженных длительной статической нагрузкой, приводит к перераспределению напряжений и снижению интенсивности процесса трещинообразования и накопления необратимых деформаций ползучести.

Настоящая работа посвящена численному моделированию процесса деформирования балок, которые были испытаны в эксперименте [10], с целью выявления особенностей трещинообразования в железобетонных балках при длительном воздействии статических нагрузок. В эксперименте проведены испытания двух серий балок (рис. 1), а также бетонных образцов стандартных конфигураций – кубов, призм и восьмерок. Балки испытаны при действии кратковременных и длительных нагрузок.

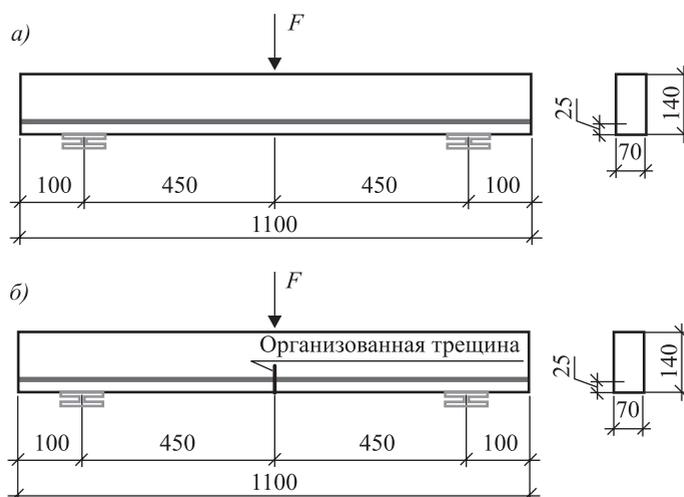


Рис. 1. Схемы железобетонных балок
а – серия 1, балки без организованных трещин; б – серия 2, балки с организованным трещиной

Балки выполнены из бетона класса В20 и армированы одним арматурным стержнем класса А400. Защитный слой составляет 25 мм, высота организованный трещины 35 мм. Балки нагружались сосредоточенной нагрузкой $F = 800$ кгс, согласно схеме нагружения, показанной на рис. 1. Продолжительность действия нагрузки составляла 86 ч. Полное описание эксперимента и полученные результаты представлены в [10].

При построении математической модели деформирования бетонных и железобетонных конструкций принимаются следующие основные допущения:

1) динамические эффекты не учитываются – задача решается в статической постановке;

2) железобетон представляется как квазиоднородная среда – свойства материалов заполнителя и связующего усредняются;

3) железобетон представляется как квазисплошная среда – при любых деформациях сохраняется сплошность.

Процесс деформирования железобетонных конструкций при действии длительных статических нагрузок с учетом образования микротрещин в бетоне может быть описан с помощью феноменологических моделей, схожих с моделями ползучести [18]. В настоящей работе была использована модель ползучести, в основе которой лежит следующий закон развития деформаций ползучести

$$\dot{\varepsilon}_{cr} = \{C_1 \sigma^{C_2} [(C_3 + 1) \varepsilon_{cr}]^{C_3}\}^{1/(C_3 + 1)} e^{-C_4/T},$$

где $\dot{\varepsilon}_{cr}$ – скорость деформации ползучести бетона;

ε_{cr} – деформации ползучести бетона;

C_1, C_2, C_3, C_4 – меры ползучести бетона, значения которых определены исходя из эксперимента и приняты $C_1 = 1 \cdot 10^{-21}$;

$C_2 = 2; C_3 = 1,2; C_4 = 0$;

T – температура;

σ – эквивалентные напряжения, МПа.

Из приведенного выше уравнения следует, что чем больше напряжение, тем выше скорость развития деформаций ползучести. Скорость развития деформаций ползучести снижается с увеличением накопленных деформаций ползучести.

Большинство моделей ползучести учитывают зависимость скорости развития деформаций ползучести от температуры. В данном случае за это отвечает параметр C_4 . В настоящем исследовании C_4 принят равным нулю и, таким образом, температурная зависимость не учитывается. Как отмечается в [9], деформации бетона в рассматриваемой балке тем больше, чем больше проявляются динамические эффекты при образовании трещин (микроколебания балки, упругие волны). Таким образом, в рассматриваемой модели ползучести температурная зависимость может быть заменена на зависимость аналогичного вида от интенсивности динамических эффектов.

Статическое напряженно-деформированное состояние конструкции описывается системой уравнений, включающей уравнения равновесия [19], геометрические соотношения (соотношения Коши) и физические соотношения (модель ползучести и модель неупругого деформирования бетона, учитывающая изменение упругих свойств материала при трещинообразовании). Для моделирования отрыва арматуры от бетона и ее проскальзывания использована модель контакта с трением и модель когезионной зоны [14], позволяющая моделировать разрушение связи арматуры и бетона. Решение нелинейной задачи выполнено с помощью метода Ньютона–Рафсона.

Численное моделирование процесса деформирования и разрушения железобетонных балок с заранее организованными трещинами и без организованных трещин при действии кратковременной и длительной нагрузок проведено с применением конечно-элементного программного комплекса

ANSYS Mechanical¹. Выбор программного средства обусловлен наличием в нем большого количества универсальных математических моделей неупругого деформирования бетона, в частности модели, известной под аббревиатурой solid65, в которой используется предельная поверхность Вилама–Варнке [20]. Модель solid65 является феноменологической – образование трещин в среде учитывается путем изменения ее упругих характеристик.

При решении задачи использовались преимущественно структурированные сетки (рис. 2) из объемных конечных элементов типа solid65 с линейными функциями формы. Характерный размер элементов составлял 1–10 мм, общее число узлов $5 \cdot 10^4$ – $1 \cdot 10^5$.

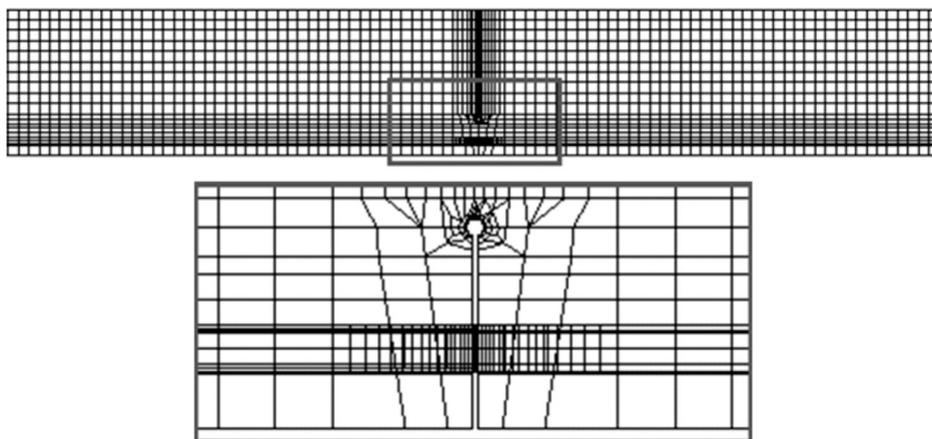


Рис. 2. Конечно-элементная модель балки с организованной трещиной

Организованная трещина моделировалась как разрыв (нарушение сплошности), т.е. трещина введена на уровне геометрической модели и конечно-элементной сетки. С целью уменьшения концентрации напряжений в вершине трещины принята модель трещины со скруглением радиусом 1 мм в вершине.

В результате расчетов на каждый момент времени установлены перемещения, упругие деформации, деформации ползучести и напряжения в расчетной области. Определено расположение стохастических трещин в бетоне. Далее представлены результаты анализа данных, полученных с помощью численного моделирования процесса деформирования балок.

На рис. 3 приведены изополя нормальных напряжений σ_x . Ось x направлена вдоль оси балки. Показана только правая половина балки, так как расчет выполнен с использованием свойств симметрии конструкции.

При малых нагрузках, соответствующих линейно-упругой стадии работы материала ($F < 40$ кгс), распределение напряжений в балке имеет плавный характер, без резких скачков (рис. 3, а, б). С ростом нагрузки ($F > 200$ кгс) поле напряжений становится существенно неоднородным, появляются

¹ Лицензия на программное обеспечение № 531 493 (ANSYS ACADEMIC Research).

резкие перепады напряжений (рис. 3, в, з), что обусловлено изменением жесткости в местах образования стохастических трещин.

На рис. 4 представлено распределение стохастических трещин для балки без организованных трещин при нагрузке $F = 200$ кгс. Трещины показаны красными линиями, приведена только правая половина балки в силу ее симметрии.

Установлено, что в балке с организованной трещиной стохастические трещины образуются примерно в тех же местах, что и в балке без организованных трещин, однако их высота ниже и количество меньше примерно на 5–10 %.

При максимальной нагрузке $F = 800$ кгс стохастические трещины появляются в большей части объема бетона. При этом происходит перераспределение напряжений, и большая часть нагрузки воспринимается арматурой. В центре балки в области контакта арматуры и бетона при $F > 650$ кгс возникают сдвиговые напряжения величиной, превышающей предел прочности бетона. При образовании трещин нарушаются связи между арматурой и бетоном, происходит проскальзывание арматуры.

В балке без организованных трещин напряжения в расчетной области более низкие. Это обусловлено тем, что в этой балке трещин больше, чем в балке с организованными трещинами, а также тем, что при образовании трещин происходит перераспределение напряжений – в бетоне напряжения уменьшаются, а в арматуре увеличиваются.

В результате расчетов установлено, что наибольшее влияние на величину прогибов балки оказывают механические свойства арматуры (предел текучести и модуль упругости). Большие прогибы балок (3–4,5 мм) вызваны пластическими деформациями в арматуре, которые начинают проявляться при $F > 700$ кгс. Распределение пластических деформаций в арматурном стержне и их величина определяются процессом трещинообразования в бетоне. Максимальные пластические деформации локализованы в центре арматурного стержня в месте, где размещена организованная трещина, либо в случае балки без организованной трещины – в центре балки в местах, где образуются большие магистральные трещины.

Деформации ползучести возникают во всем объеме балки, но максимальные значения достигаются в центральной части балки в области арматуры и на вершине организованной трещины. При действии длительной статической нагрузки деформации ползучести в бетоне плавно увеличиваются с течением времени. Причем наиболее быстрый рост деформаций ползучести происходит в начальные моменты времени ($t < 5$ ч). Затем приращение деформаций ползучести плавно уменьшается.

С течением времени поле напряжений в бетоне изменяется (рис. 3, д, е), что обусловлено развитием деформаций ползучести и появлением новых трещин. Сильное изменение напряжений происходит в областях трещинообразования. В остальных областях напряжения плавно снижаются с течением времени.

На рис. 5 изображены зависимости прогиба балок без организованных трещин и с организованными трещинами от времени, полученные экспериментально и с помощью численного моделирования.

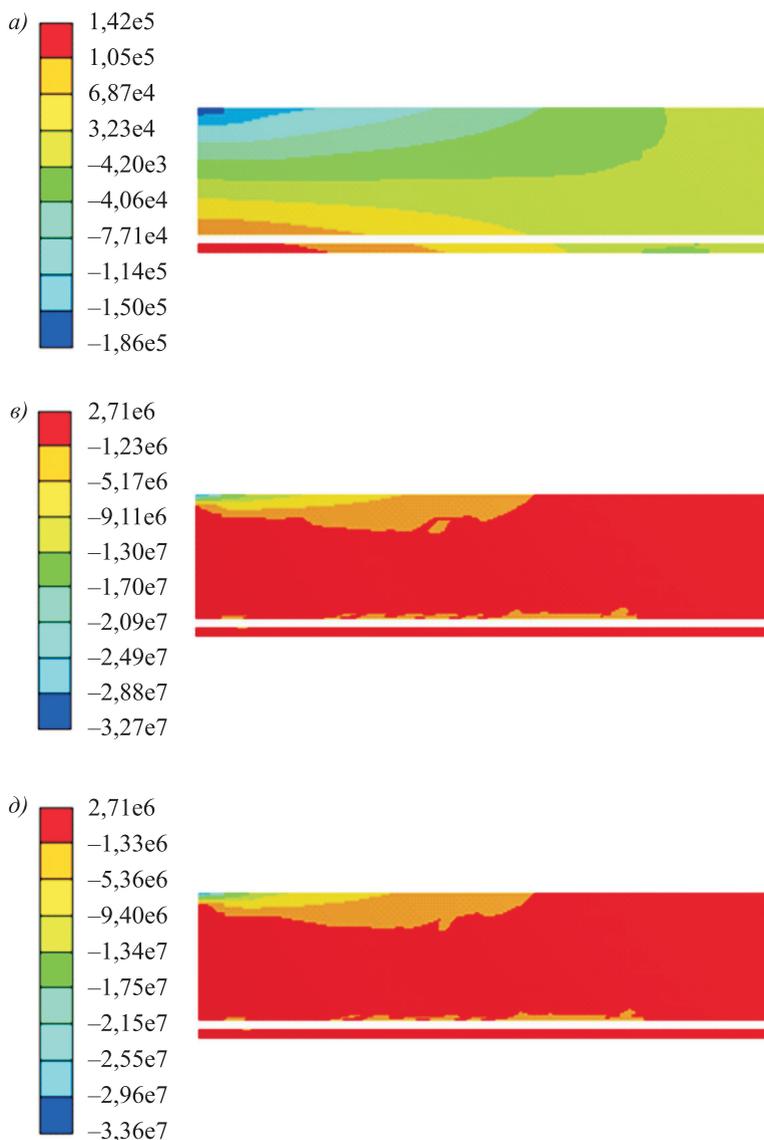
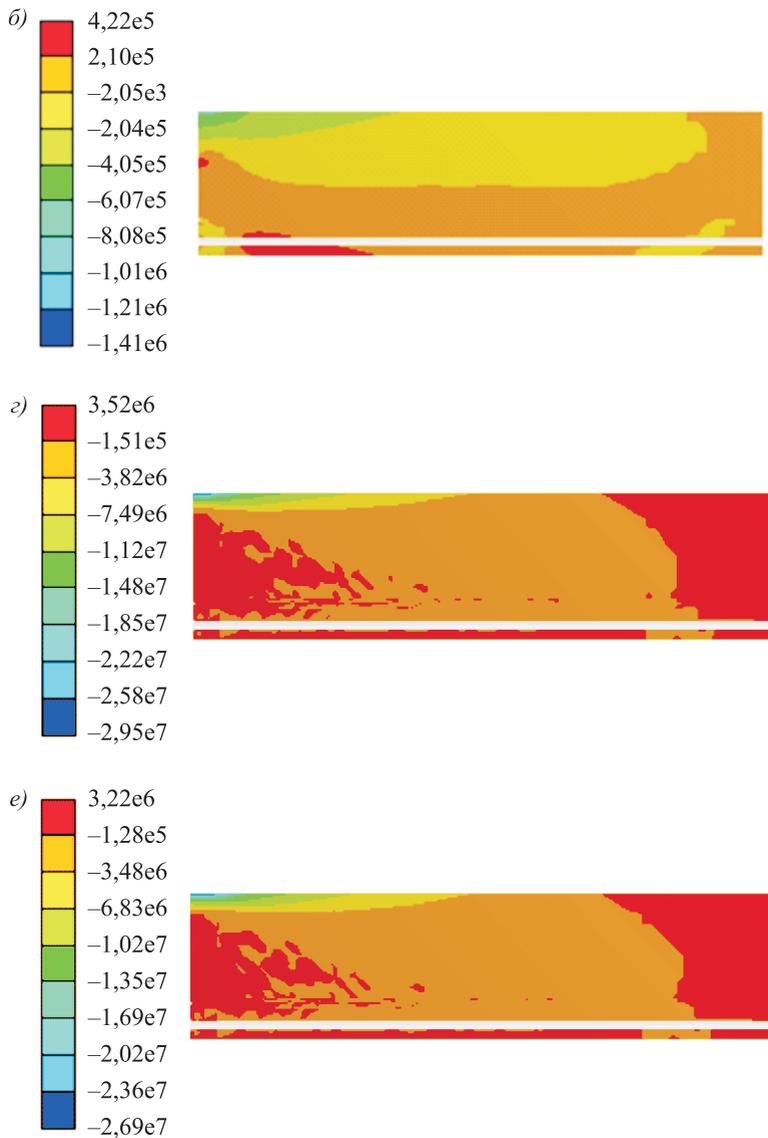


Рис. 3. Нормальные

a – балка без организованной трещины, $F = 40$ кгс; *б* – балка с организованной трещиной, $t = 30$ мин; *в* – балка с организованной трещиной, $F = 800$ кгс, кратковременная нагрузка; *д* – балка с организованной трещиной,

Для балки без организованных трещин максимальный прогиб в центральной точке нижней грани балки при кратковременной нагрузке составляет 3,61 мм, а при длительной нагрузке – 3,92 мм; прирост прогиба за 86 ч – 0,313 мм. Для балки с организованными трещинами максимальный прогиб в центральной точке нижней грани балки при кратковременной нагрузке составляет 3,14 мм, а при длительной нагрузке – 3,35 мм; прирост прогиба за 86 ч – 0,21 мм. Таким образом, балки с организованными трещинами обеспечивают меньшие приращения прогибов в течение длительного времени, чем балки без организованных трещин.



напряжения σ_x , Па

$F = 40$ кгс; δ – балка без организованной трещины, $F = 800$ кгс, кратковременная нагрузка $t = 30$ мин; δ – балка без организованной трещины, $F = 800$ кгс, длительная нагрузка $t = 86$ ч; $F = 800$ кгс, длительная нагрузка $t = 86$ ч

Расчетные зависимости, изображенные на рис. 5, имеют форму, близкую к форме зависимости, полученной в эксперименте. В начальный момент времени прогибы нарастают с большой скоростью, а с течением времени скорость роста прогиба уменьшается. Это обусловлено развитием в течение времени деформаций ползучести, образованием стохастических трещин и сопутствующим перераспределением напряжений. График зависимости для балки с организованной трещиной является более пологим по сравнению с зависимостью для балки без организованной трещины, что объясняется меньшей интенсивностью процессов развития деформаций ползучести и трещинообразования.

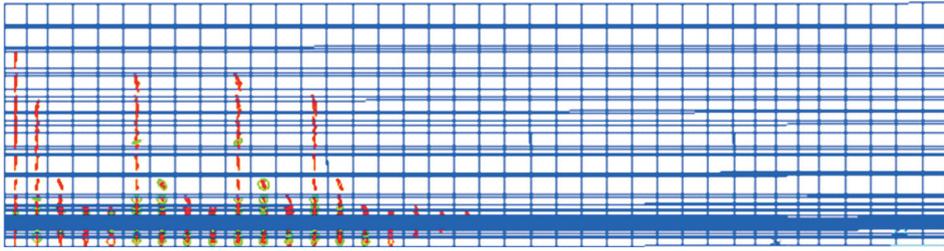


Рис. 4. Распределение трещин для балки без организованных трещин, $F = 200$ кгс

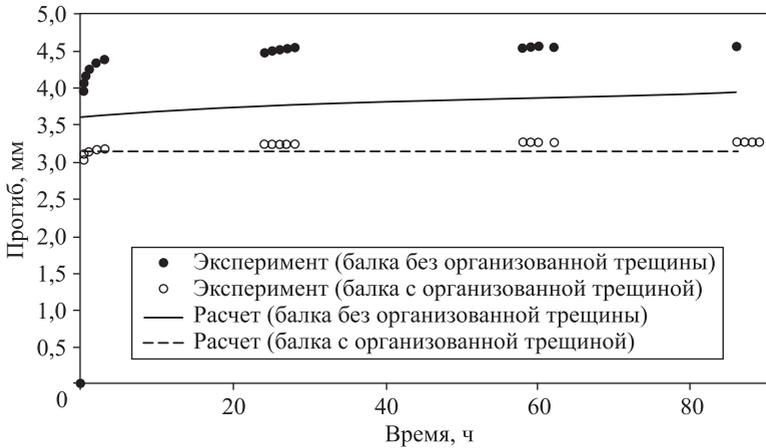


Рис. 5. Зависимости прогиба балок без организованных трещин и с организованными трещинами от времени, полученные экспериментально и с помощью численного моделирования

В случае балки с организованной трещиной расхождение результатов расчета с экспериментальными данными наименьшее и составляет менее 1 %, а для балки без организованных трещин расхождение имеет значительно большую величину, но не превышает 10 %. В расчетах получены более низкие значения прогибов по сравнению с прогибами, определенными в эксперименте, в частности, из-за того, что принятая математическая модель не учитывает динамические эффекты, которые, как было отмечено ранее, более сильно проявляются при монотонно возрастающих и статических кратковременных нагрузках.

Таким образом, феноменологические модели ползучести и неупругого деформирования бетона (модель solid65) могут быть использованы для моделирования процесса деформирования балок с организованными трещинами при действии длительных нагрузок. Однако модели деформирования бетона не описывают изменение структуры материала в процессе деформирования. Кроме того, математическая модель не учитывает динамические эффекты, которые существенно влияют на процесс трещинообразования.

Выводы. 1. Обоснована возможность применения феноменологических моделей ползучести и неупругого деформирования бетона, описывающих работу материала с трещинами (в частности модели solid65), для моделиро-

вания процесса деформирования балок с организованными трещинами при действии длительных нагрузок.

2. Результаты расчетов с использованием выбранных моделей хорошо коррелируют с экспериментальными данными. В случае балки с организованной трещиной расхождение результатов расчета с экспериментальными данными составляет менее 1 %, а для балки без организованных трещин расхождение имеет большую величину, но не превышает 10 %. Значения прогибов балок, полученные в расчетах, по сравнению с прогибами, определенными в эксперименте, являются более низкими. По мнению авторов, это, в частности, объясняется тем, что принятая математическая модель не учитывает динамические эффекты, которые более сильно проявляются при монотонно возрастающих и статических кратковременных нагрузках.

3. Эффекты от введения организованных трещин в растянутую зону балки, наблюдаемые в физических экспериментах, подтверждены численным экспериментом. Расчеты показали, что железобетонные балки с организованными трещинами в растянутой зоне под действием длительных статических нагрузок имеют меньшие прогибы по сравнению с балками без организованных трещин.

4. Подтверждена гипотеза о том, что введение организованных трещин в растянутую зону балок, нагруженных длительной статической нагрузкой, приводит к перераспределению напряжений и снижению интенсивности процесса трещинообразования и накопления необратимых деформаций ползучести.

5. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния балок позволило подтвердить некоторые особенности их работы, которые в физическом эксперименте отслеживались только по косвенным признакам из-за сложностей технического характера. В частности, определены места локализации пластических деформаций арматуры и их величина. Также подтверждено, что происходит нарушение связей между арматурой и бетоном. Эти особенности были учтены в созданной расчетной модели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Purvis R., Babei K., Udani N., Qanbari A., Williams W. Premature cracking of concrete bridge decks: causes and methods of prevention // Proceedings of the 4th International Bridge Engineering Conference. Washington, DC, 1995.
2. Степанова И.В., Кондратов В.В., Овчинникова В.П., Соловьева В.Я. Новые комплексные добавки, повышающие трещиностойкость бетона // Нов. исслед. в материаловедении и экологии. 2004. № 2. С. 19–23.
3. Карабаш В.Г. Экспериментально-теоретическое исследование работы арматуры изгибаемых железобетонных элементов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1953. 17 с.
4. Marder M. Shock-wave theory for rupture of Rubber // Physical Review Letters. 2005. Vol. 94. Ser. 048001.
5. Guo d z e n T.M., J a g l a E.A. Supersonic crack propagation in a class of lattice models of mode III brittle fracture // Physical Review Letters. 2005. Vol. 95. Ser. 224302.
6. Митасов В.М. Определение напряжений арматуры железобетонного элемента в сечении с трещиной // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1988. № 4. С. 116–118.

7. М и т а с о в В.М., А д и щ е в В.В. Основные предпосылки построения энергетической теории сопротивления железобетона // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 5. С. 3–9.
8. М и т а с о в В.М., А д и щ е в В.В. Основные положения энергетической теории сопротивления железобетона // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 6. С. 3–8.
9. М и т а с о в В.М., А д и щ е в В.В., П и ч к у р о в а Н.С. Напряженно-деформированное состояние железобетонных балок с организованными трещинами // Вестн. РААСН. 2008. Т. 1, № 13. С. 222–227.
10. М и т а с о в В.М., Л о г у н о в а М.А., Ш а т о х и н а М.В. Железобетонные балки с организованными трещинами под воздействием длительной нагрузки // Изв. вузов. Строительство. 2013. № 10. С. 5–10.
11. Hallquist J.O. Procedure for the solution of finite deformation contact-impact problems by the finite element method. Univ. Califor, Lawrence Livermore Nat. Lab., Rept. UCRL-52066, 1976.
12. З е н к е в и ч О., М о р г а н К. Конечные элементы и аппроксимация: Пер. с англ. М.: Мир, 1986.
13. Belytschko T., Black T. Elastic crack growth in finite elements with minimal remeshing // Int. J. Numer. Meth. Eng. 1999. Vol. 45, No. 5. P. 601–620.
14. Xu X.-P., Needleman A. Numerical simulations of fast crack growth in brittle solids // J. Mechanics and Physics of Solids. 1994. Vol. 42. P. 1397–1434.
15. Monagan J.J. An introduction to smooth particle hydrodynamics // Comput. Phys. Comm. 1988. Vol. 48. P. 89–96.
16. Rabczuk T., Belytschko T. A three dimensional large deformation meshfree method for arbitrary evolving cracks // Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 2007. No. 196(29-30). P. 2777–2799.
17. Silling S.A., Askari E.A. Meshfree method based on the peridynamic model of solid mechanics // Computers and Structures. 2005. Vol. 83. P. 1526–1535.
18. Bažant Z.P. Prediction of concrete creep and shrinkage: past, present and future. Nuclear Engineering Design. 2001. No. 203. P. 27–38.
19. С а м у л ь В.И. Основы теории упругости и пластичности. М.: Высш. шк., 1982. 264 с.
20. Willam K.J., Warnke E.D. Constitutive model for the triaxial behavior of concrete // Proceedings, International Association for Bridge and Structural Engineering. 1975. No. 19. P. 174–191.

Чхум Амнот, асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Митасов Валерий Михайлович, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Данилов Максим Николаевич, мл. науч. сотрудник

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено после доработки 06.03.18

Chhom Amnoth, Post-graduate Student

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Mitasov Valeriy Mikhaylovich, DSc, Professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Danilov Maksim Nikolaevich, Junior Scientist

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

NUMERICAL STUDY OF THE STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE BEAM WITH PRE-ORGANIZED CRACKS UNDER LONG-TERM LOADING

The article investigates of numerical modeling of the process of deformation and fracture of the reinforced concrete beams with preformed organized cracks and without preformed organized under the action of short-term and long-term loading. Identified that, the features was changed of stress-strain state of beam during the deformation process and the main factors determining process of the fracture of beam. Effects from the introduction of organized cracks, observed in physical experiments, were confirmed by numerical experiment. Carried out of comparison analysis of the experimental data and the results of numerical modeling.

Key words: reinforced concrete beams, preformed organized cracks, creep, cracks pat-tern, short-term loading, long-term loading.

REFERENCES

1. Purvis R., Babei K., Udani N., Qanbari A., Williams W. Premature cracking of concrete bridge decks: causes and methods of prevention. Proceedings of the 4th International Bridge Engineering Conference. Washington, DC, 1995.
2. Stepanova I.V., Kondratov V.V., Ovchinnikova V.P., Solov'eva V.Ya. Novye kompleksnye dobavki, povyshayushchie treshchinostoykost' betona [New complex additives, increasing crack resistance of concrete] // Nov. issled. v materialovedenii i ekologii [New research in the materials science and environmental]. 2004. No. 2. Pp. 19–23. (in Russian)
3. Karabash V.G. Eksperimental'no-teoreticheskoe issledovanie raboty armatury izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov: aftoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Experimental and theoretical study of reinforcement work of flexible reinforced elements: Extended abstract of candidate's thesis]. Moscow, 1953. 17 p. (in Russian)
4. Marder M. Shock-wave theory for rupture of Rubber. Physical Review Letters. 2005. Vol. 94. Ser. 048001.
5. Guodzen T.M., Jagla E.A. Supersonic crack propagation in a class of lattice models of mode III brittle fracture. Physical Review Letters. 2005. Vol. 95. Ser. 224302.
6. Mitasov V.M. Opredelenie napryazheniy armatury zhelezobetonogo elementa v sechenii s treshchinoy [Ferro-concrete unit's reinforcement stress determination in its cross section splitted]. Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura [News of Higher Educational Institutions. Construction and Architecture]. 1988. No. 4. Pp. 116–118. (in Russian)
7. Mitasov V.M., Adishchev V.V. Osnovnye predposylki postroeniya energeticheskoy teorii soprotivleniya zhelezobetona [Main preconditions of creating energy theory of reinforced concrete strength]. Izv. vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2010. No. 5. Pp. 3–9. (in Russian)
8. Mitasov V.M., Adishchev V.V. Osnovnye polozheniya energeticheskoy teorii soprotivleniya zhelezobetona [Main regulations of energy theory of reinforced concrete strength]. Izv. vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2010. No. 6. Pp. 3–8. (in Russian)
9. Mitasov V.M., Adishchev V.V., Pichkurova N.S. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie zhelezobetonnykh balok s organizovannymi treshchinami [Stress-strain state of reinforced concrete beams with preformed organized cracks]. Vestnik RAASN [Bulletin of RAACS], 2008. Vol. 1. No. 13. Pp. 222–227. (in Russian)

10. Mitasov V.M., Logunova M.A., Shatokhina M.V. Zhelezobetonnye balki s organizovannymi treshchinami pod vozdeystviem dlitel'noy nagruzki [Reinforced concrete beams with specified cracks under the long term load]. *Izv. vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2013. No. 10. Pp. 5–10. (in Russian)
11. Hallquist J.O. Procedure for the solution of finite deformation contact-impact problems by the finite element method. Univ. Califor, Lawrence Livermore Nat. Lab., Rept. UCRL-52066, 1976.
12. Zenkevich O., Morgan K. Konechnye elementy i approksimatsiya [Finite Elements and Approximation]. Moscow, 1986. (in Russian)
13. Belytschko T., Black T. Elastic crack growth in finite elements with minimal remeshing. *Int. J. Numer. Meth. Eng.* 1999. Vol. 45, No. 5. Pp. 601–620.
14. Xu X.-P., Needleman A. Numerical simulations of fast crack growth in brittle solids. *J. Mechanics and Physics of Solids.* 1994. Vol. 42. Pp. 1397–1434.
15. Monaghan J.J. An introduction to smooth particle hydrodynamics. *Comput. Phys. Comm.* 1988. Vol. 48. Pp. 89–96.
16. Rabczuk T., Belytschko T. A three dimensional large deformation meshfree method for arbitrary evolving cracks. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 2007. No. 196(29-30). Pp. 2777–2799.
17. Silling S.A., Askari E. A. Meshfree method based on the peridynamic model of solid mechanics. *Computers and Structures.* 2005. Vol. 83. Pp. 1526–1535.
18. Bažant Z.P. Prediction of concrete creep and shrinkage: past, present and future. *Nuclear Engineering Design.* 2001. No. 203. Pp. 27–38.
19. Samuil' V.I. *Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti* [Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity]. Moscow, 1982. 264 p. (in Russian)
20. William K.J., Warnke E.D. Constitutive model for the triaxial behavior of concrete. *Proceedings, International Association for Bridge and Structural Engineering.* 1975. No. 19. Pp. 174–191.

УДК 624.014.2

А.А. ВАСИЛЬКИН, С.В. ЩЕРБИНА, В.В. ДЕНЯКОВА

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОИСК
КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ ПЛИТЫ
ПОКРЫТИЯ МИНИМАЛЬНОЙ МАССЫ
МЕТОДОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ НДС**

Предложено применение методов управления поведением несущих стальных конструкций, а именно регулирование напряженно-деформированного состояния структурной плиты. Выбраны регуляторы управления поведением, определена область их допустимых значений. В качестве критерия эффективности полученных решений принята металлоемкость. Разработан автоматизированный вычислительный алгоритм, позволяющий варьировать переменные параметры конструкции. На основе автоматизированного синтеза и анализа более 400 проектных вариантов определены наиболее эффективные значения регуляторов, позволяющие получить максимально экономичное проектное решение стальной конструкции.

К л ю ч е в ы е с л о в а: управление поведением конструкций, регулирование напряженно-деформированного состояния, поиск эффективного решения, структурные плиты.

Традиционный метод проектирования стальных конструкций заключается в принятии определенной расчетной схемы в качестве исходной и проверке ее надежности согласно действующим нормам [1]. Эффективность исходных предпосылок при проектировании зависит от опыта, квалификации и таланта инженера [2]. Для получения наиболее действенных проектных решений предлагается один из методов управления поведением конструкций – метод регулирования напряженно-деформированного состояния (НДС) [3]. Использование подобных методов возможно при рассмотрении проектируемой конструкции как киберфизической проектируемой системы [4]. Методы регулирования НДС находят применение при проектировании различных строительных объектов. Первые работы в этой области начались в 70-е гг. XX в. [5], в нашей стране известны исследования Н.П. Абовского [3] и А.В. Перельмутера [6].

Регулирование НДС конструкции осуществляется за счет управления (изменения, варьирования) ее параметрами, которые в данном случае выступают как параметры регулирования. Для выполнения этой процедуры необходимо выделить параметры, изменение которых максимально повлияет на целевую функцию. Регулирование НДС строительной конструкции может достигаться за счет оптимального изменения расположения массы [7], степени нагружения конструкции [8], уровня опор [9], а также предварительного напряжения [10, 11].

Как и в теории оптимизации [12–14], в управлении поведением конструкций необходимо выбрать целевую функцию, в качестве которой примем

металлоемкость – одно из базовых значений в проекте [15]. После выбора регуляторов нужно установить область их допустимых значений, в рамках которых будет осуществляться варьирование. Здесь понадобятся специальные знания в области проектирования стальных конструкций, т.е. эту работу следует поручить экспертам и специалистам в соответствующей области проектирования.

Строительные конструкции характеризуются значительным числом регуляторов, диапазон варьирования которых может быть весьма широким. Процесс регулирования НДС в целях получения конструкции минимальной массы представлен на рис. 1.

Выполнение одного цикла является обычной инженерной задачей по расчету конструкции. Полный учет регуляторов при ручном расчете трудо-



Рис. 1. Структурная схема проектирования

емкая задача, занимающая очень много времени, поэтому используем ранее предложенную методику автоматизации поиска проектных решений стальных конструкций [16, 17] для регулирования НДС. Покажем возможность использования метода регулирования усилий несущих конструкций для подбора конструкции минимальной массы на примере структурной плиты покрытия. Цель регулирования НДС объекта проектирования – получение конструкции минимальной массы.

Структурные плиты (структуры) представляют собой пространственные статически неопределимые системы [18, 19], обладающие рядом положительных свойств: многосвязность, универсальность, архитектурная выразительность, и применяемые в основном для перекрытия одноэтажных административных зданий. Достоинства и недостатки структур, а также особенности их проектирования хорошо известны [20, 21]. Принятые исходные параметры структурной плиты и диапазон их значений представлены в табл. 1.

Таблица 1. Значение регуляторов

Класс стали	Высота плиты, м	Размер ячейки $a \times a$, м
C245, C285, C345	1,50 – 10,0, шаг 0,5	1,50 – 10,0, шаг 0,5, кратно 30

Таким образом, проводится исследование около 430 вариантов значений регуляторов, направленное на выявление наиболее эффективной конструкции по критерию металлоемкость.

В исследовании используется плита регулярной структуры с квадратным расположением стержней в нижнем и верхнем поясах, сопряжение элементов в узлах шарнирное. Размеры плиты в плане, действующая нагрузка, тип кристалла приняты в качестве неизменяемых параметров. Тип сечения – профиль стальной гнутой замкнутой сварной квадратный (ЗГСП) по ГОСТ 30245–2003. Также возможно применение круглых, овальных и плоскоовальных труб [22].

В виде ограничений приняты условие прочности для растянутых стержней, условие устойчивости для сжатых стержней, ограничение по предельной гибкости, предельный прогиб конструкции. Исследовали типовую структурную плиту (рис. 2) с размерами в плане 30×30 м, имеющую ортогональную сетку поясов с изменяемыми ячейкой и высотой. Кристаллы структурной плиты имеют форму пирамиды с квадратным основанием. ОпираНИЕ структурной плиты на колонны осуществляется по нижнему поясу в каждом узле (рис. 2, в).

Как указано в работе [18], наиболее рациональной схемой опирания считается опирание по контуру в каждом узле или с шагом в три-четыре ячейки. Для проведения численного исследования была создана пространственная балочно-оболочечная модель в универсальном программном комплексе ANSYS Mechanical в форме макросов, написанных на внутреннем языке программирования APDL. Стержни моделировались 2-узловым балочным элементом BEAM188. Для приложения нагрузки использовались 4-узловые оболочечные элементы SHELL181.

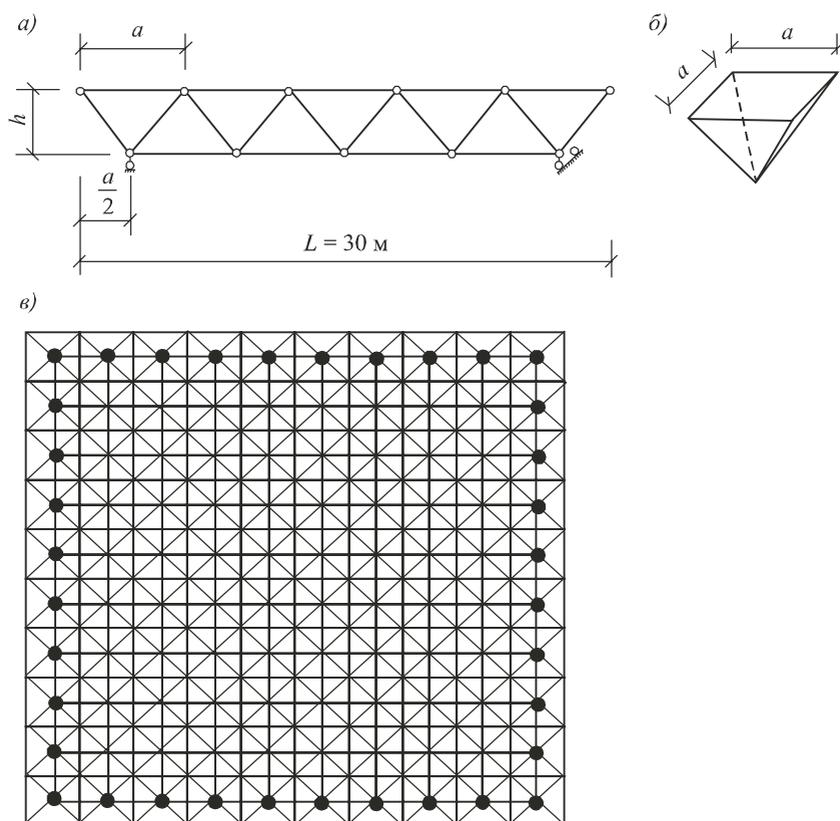


Рис. 2. Типовая структурная плита

a – общий вид; *б* – форма кристалла; *в* – расположение опор

Традиционный порядок подбора сечений стальных конструкций [23, 24] состоит из статического расчета для идеализированной расчетной схемы с определением усилий в элементах. По действующим усилиям находится требуемая площадь сечений, которая зависит от прочности стали. Зная требуемую площадь, инженер задается типом сечения и по сортаменту выбирает профиль, имеющий ближайшее большее значение площади.

Регулирование НДС структурной плиты по СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции», реализованное в ПК ANSYS, имеет следующий вид. На начальном этапе расчета создается геометрическая модель конструкции, устанавливаются граничные условия, задаются свойства материала. Элементы конструкции с одинаковыми сечениями формируются по группам. В исследуемой задаче сечения подбирались для трех групп: 1 – нижний пояс структурной плиты, 2 – верхний пояс, 3 – раскосы. Задаются варьируемые параметры расчета, указанные в табл. 1, и выполняется расчет по сортаменту рассматриваемых типов профилей, интегрированному в расчетный модуль.

Особенность алгоритма многовариантных расчетов заключается в том, что для первого расчета принимается сечение с минимальной несущей способностью. Для заданных групп находятся максимальные усилия, для которых последовательно, от минимального к максимальному, выполняется цикл проверки выбранных профилей, до подбора минимально возможного сечения. Затем начальные профили заменяются на подобранные. Когда изме-

няются сечения конструкций, изменяется матрица жесткости основной схемы и как следствие изменяются усилия в элементах. Следовательно, нужен пересчет задачи с новыми жесткостями. Далее осуществляется проверка несущей способности принятых сечений и если она не выполняется, то происходит переход на следующее сечение. Эта процедура повторяется до выполнения условий прочности или устойчивости. Разработанный алгоритм автоматически пересчитывает усилия и подбирает сечения, пока подобранные профили предыдущей итерации не совпадут с подобранными профилями текущей. Обычно хватает 2–4 пересчетов.

В установленном порядке автоматически меняется значение первого регулятора – увеличивается высота структурной плиты на один шаг, и алгоритм подбора сечений повторяется. При изменении высоты структуры автоматически происходит построение конечно-элементной модели структурной плиты с новыми координатами узлов, при этом ограничения остаются неизменными. После выполнения цикла до h_{\max} класс стали заменяется на следующий, указанный в табл. 1, и снова следуют циклы расчетов для всех заданных высот структуры и заданных классов стали. Третьим автоматизированно изменяемым параметром является длина панели a . Подобранные профили, вычисленный вес конструкции и другие значения, необходимые для анализа, записываются в текстовый файл, по которым строятся графики.

На рис. 3 показаны законы изменений целевой функции – металлоемкость – от изменения регуляторов h и a согласно значениям, приведенным в табл. 1, для типа сечения ЗГСП и различных классов стали. Анализируя график, можно сделать вывод, что с увеличением размера ячейки a снижается масса конструкции.

В случае, если монтаж конструкции будет выполняться поэлементной сборкой, когда элементы структуры привозятся на строительную площадку россыпью и собираются на месте, высота структурной плиты может быть 10 м, длина раскосов достигает предельной длины фасонного проката 12 м. Дальнейшее увеличение размера ячейки или высоты структуры требует укрупнительных стыков по длине элемента структуры и нецелесообразно. Очевидно, что на практике высота структуры в 10 м также необоснованно завышена, поскольку резко увеличивает строительный объем здания, вызывая повышенный расход энергоресурсов на вентилярование и кондиционирование в летний период и на отопление в зимний. Поэтому для дальнейших расчетов ограничим максимальную высоту структурной плиты транспортным габаритом – 3,8 м.

Наблюдаемые на рис. 3 резкие скачки массы конструкции вызваны шагом проката. Для того чтобы избежать таких скачков, был изменен алгоритм подбора сечений.

При разработке алгоритма перебора сечений важным вопросом является принцип возрастания сортамента – за счет роста какого параметра изменяется сортмент: площади поперечного сечения, радиуса инерции, момента инерции. В первом варианте алгоритма перебор сечений сортамента идет в направлении увеличения момента инерции, поскольку при определении устойчивости сжатых элементов радиус инерции является важным параметром. В измененном варианте перебор сечений сортамента происходит за счет площади поперечного сечения. Применение этого алгоритма дает лучший результат и более плавное изменение графика массы конструкции по высоте.

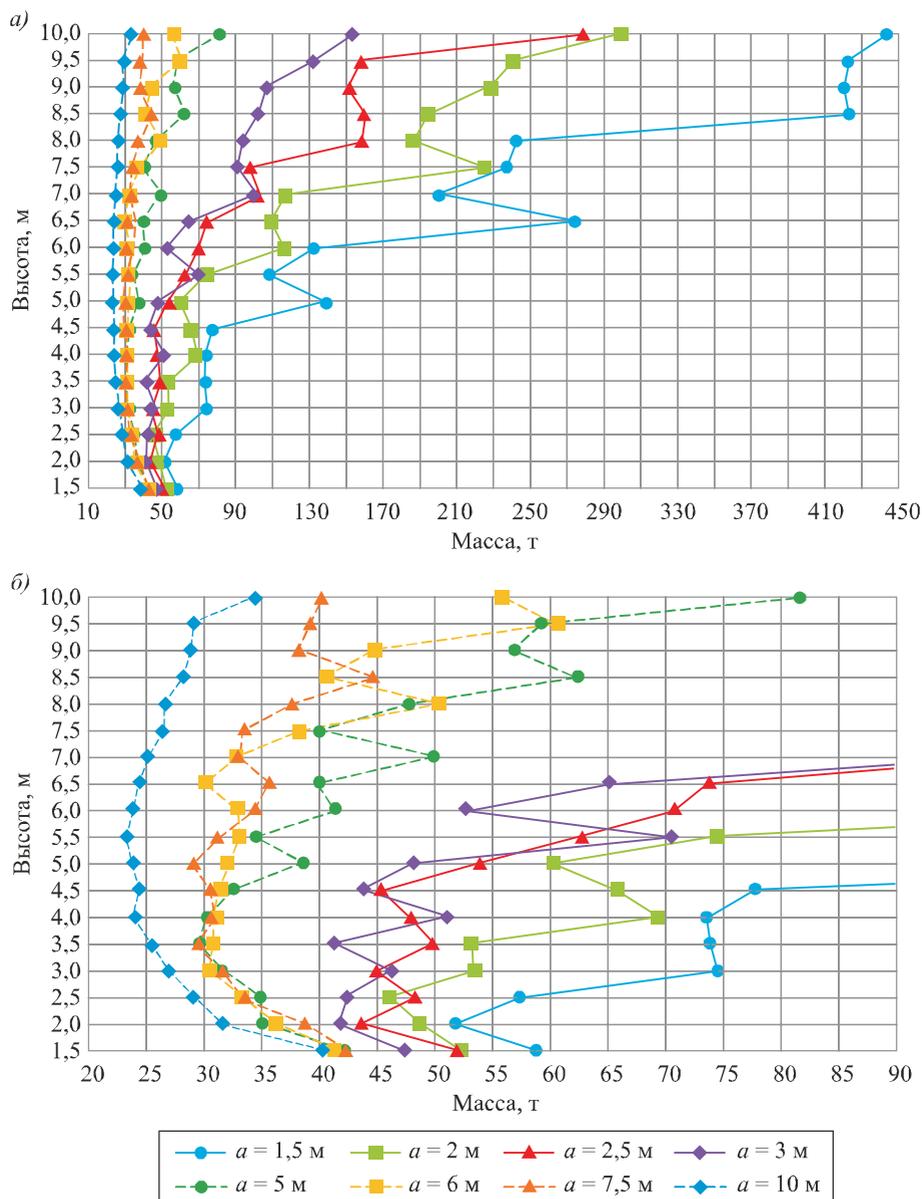


Рис. 3. Изменение веса структурной плиты до высоты $h = 10$ м, $a = 10$ м
 a – в диапазоне 10–450 т; б – в диапазоне 20–90 т

Так, выбор между сечением $50 \times 50 \times 6$ или $60 \times 60 \times 2,5$ по первому подходящему моменту инерции, при моментах инерции $I = 29,36 \text{ см}^4$ и $I = 30,33 \text{ см}^4$ и площади поперечных сечений $A = 9,63 \text{ см}^2$ и $A = 5,59 \text{ см}^2$ соответственно дает перерасход стали до 40 %.

Эффект от применения модифицированного алгоритма показан на рис. 4. Видна заметная разница по модулю (экономия стали до 15 %) и в поведении графика – т.е. скачков массы конструкции, которую подбирает программа из-за дискретности сортамента металла.

Окончательные графики изменения массы с модифицированным алгоритмом представлены на рис. 4. Каждая точка на графике означает полностью рас-

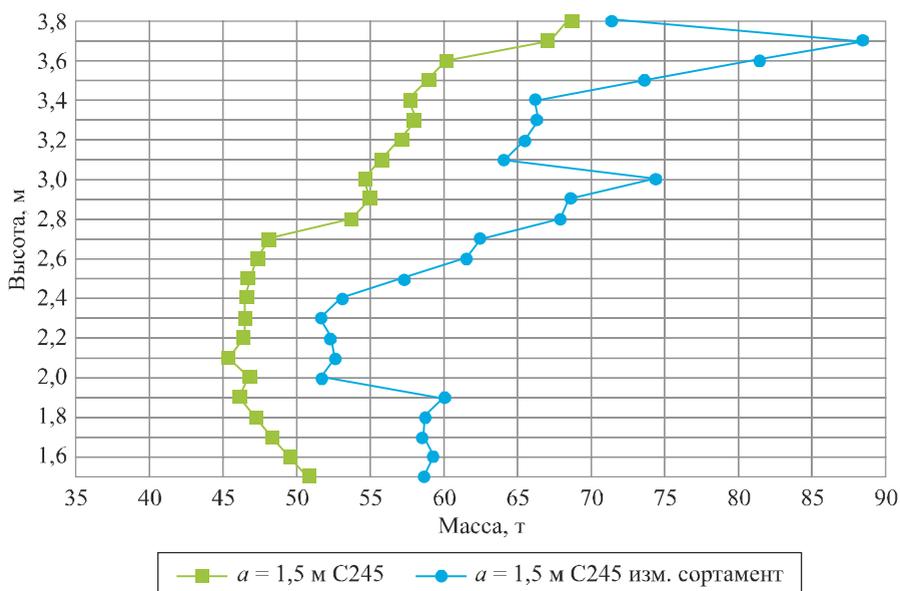


Рис. 4. Изменение веса структурной плиты до высоты при исходном подборе сечения и при измененном варианте перебора

считанную конструкцию структурной плиты с параметрами, соответствующими этой точке – классом стали, высотой плиты и размером ячейки.

При увеличении расстояния между узлами верхнего пояса – основания пирамиды (длина панели) a усилия в элементах плиты и масса конструкции все время снижаются, т.е. чем больше a , тем ниже металлоемкость (рис. 5). Видимо, максимальная длина панели должна ограничиваться конструктивным образом, например, максимальным пролетом профнастила, укладываемого на верхний пояс структуры. Если же принять вариант опирания покрытия по прогонам, то здесь в расчет необходимо внести подбор сечения прогона, следовательно, вес несущих конструкций сооружения будет складываться из трех слагаемых – структурная плита, колонна и прогон.

Кроме того, при малой a увеличивается количество узлов по нелинейному закону (табл. 2, рис. 6). А если дополнительно учесть трудоемкость изготовления конструкции, то эффективность длинных панелей еще больше возрастет, что может являться объектом дальнейшего исследования.

Закключение. С увеличением размера ячейки масса конструкции снижается. Для класса стали С245 минимальная масса структуры с ячейкой 1,5 м больше минимальной массы структуры с ячейкой 10 м на 48 %, для С285 – на 47, для С345 – на 40 %. При увеличении размера ячейки количество узлов умень-

Таблица 2. Количество узлов структуры при различных a

a , м	Кол-во узлов, шт.	Масса всего, кг
1,5	841	9192
2	481	5257
2,5	313	3421
3	221	2416
5	85	929
6	61	667
7,5	41	448
10	25	273

Примечание. Масса узла «Мархи» 10,93 кг.

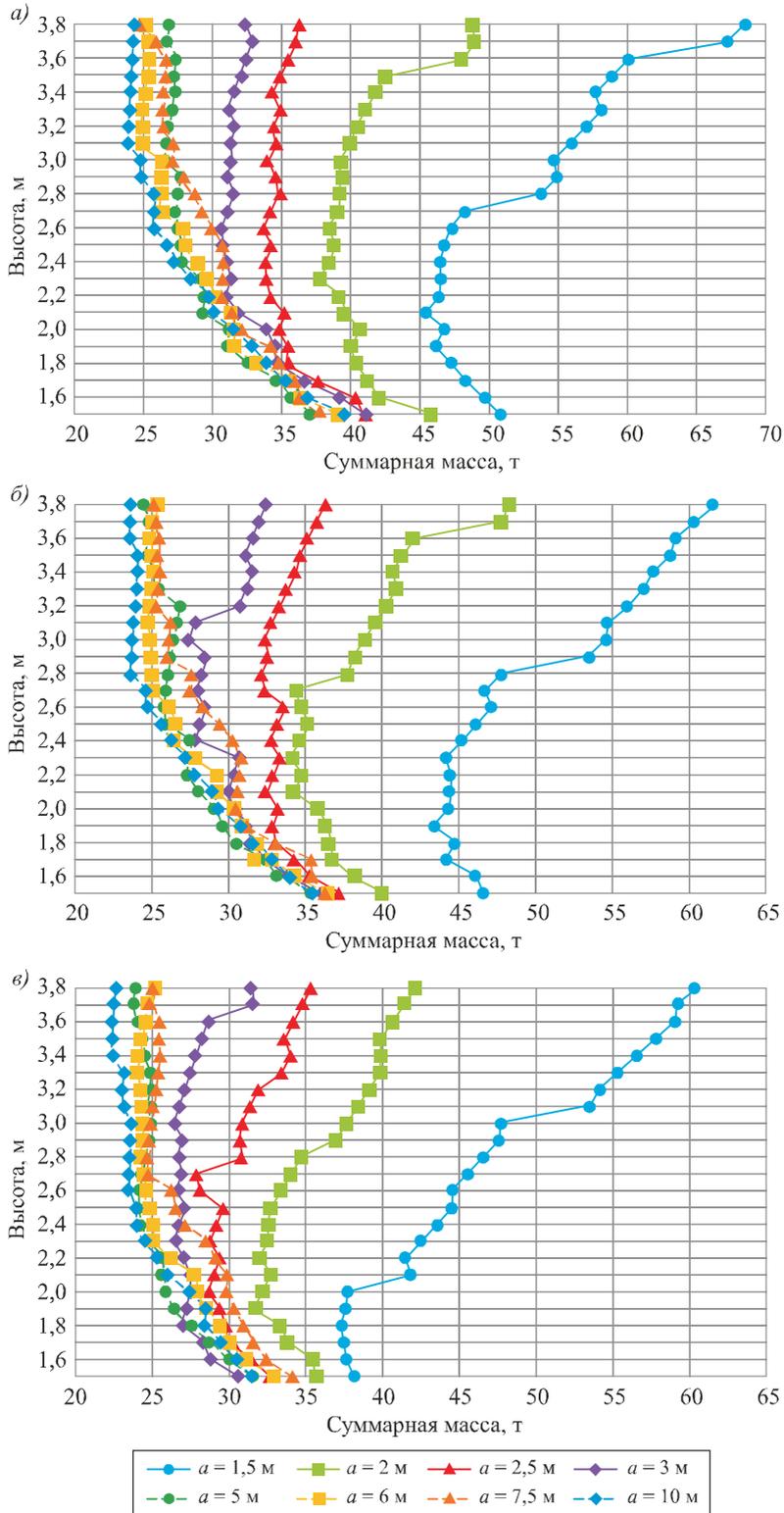


Рис. 5. Изменение веса структурной плиты до высоты $h = 3,8 \text{ м}$ для трех классов стали с различными значениями регуляторов a – сталь С245; б – сталь С285; в – сталь С345

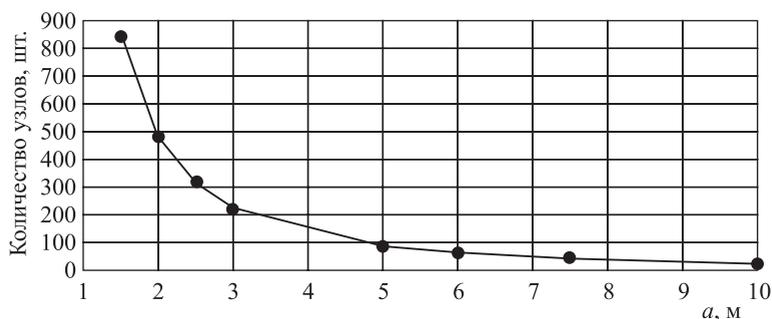


Рис. 6. Зависимость количества узлов от размера ячейки

шается (при заданном неизменяемом пролете). С учетом массы узлов для стали С245 минимальная масса структуры с ячейкой 1,5 м больше минимальной массы структуры с ячейкой 10 м на 56 %, для класса стали С285 – на 55, для С345 – на 51 %.

По графикам зависимости массы от размера ячейки и высоты структуры (см. рис. 5) для каждого размера ячейки можно определить диапазон высот структуры, при котором ее масса будет наименьшей, а изменение массы в пределах этого диапазона будет незначительным. Например, для стали С245 и размера ячейки 1,5 м таким диапазоном будет область высот от 1,7 до 2,7 м (разница минимальной и максимальной массы в данном диапазоне 5 %). При этом наиболее эффективная высота по критерию «металлоемкость» – 2,1 м. Однако для уменьшения строительного объема можно принять высоту 1,7 м без значительного увеличения массы структурной плиты.

В ряде случаев можно заметить, что с увеличением размера ячейки разница между наиболее эффективной по металлоемкости высотой и высотой, принимаемой из соображений уменьшения строительного объема, возрастает и может достигать значения 1 м, при том что вес структуры увеличится не более чем на 5 %. Таким образом, исходя из предъявляемых к проектируемой структуре требований, таких как снижение веса конструкции, уменьшение строительного объема или из архитектурных требований к размерам ячейки или высоте структуры, можно подобрать наиболее эффективный вариант при помощи полученных зависимостей или предложенной методики.

Представленные результаты свидетельствуют о широких возможностях метода регулирования НДС при получении эффективных проектных решений стальных конструкций на этапе проектирования. Синтез и сравнение значительного числа вариантов проектных решений позволяют получить наиболее экономичное решение.

Возможность учета при регулировании НДС всех параметров конструкции вызывает сомнения, однако можно предположить, что со временем количество учитываемых параметров в каждом типе стальных конструкций будет возрастать. Поиск существенных параметров, их выделение и учет в процессе регулирования НДС может являться предметом дальнейшего исследования в этой области, особенно принимая во внимание широкую номенклатуру стальных конструкций – одноэтажные и многоэтажные здания, огромный спектр большепролетных конструкций, высотные сооружения, листовые конструкции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Туснин А.Р. Автоматизация расчетов несущей способности элементов стальных конструкций // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2012. № 2. С. 31–33.
2. Еремеев П.Г. Научно-техническое сопровождение проектирования, изготовления и монтажа металлических конструкций футбольных стадионов // *Пром. и гражд. стр-во*. 2016. № 12. С. 24–30.
3. Абовский Н.П. Управляемые конструкции. Красноярск, 1998. 433 с.
4. Волков А.А. Кибернетика строительных систем. Киберфизические строительные системы // *Пром. и гражд. стр-во*. 2017. № 9. С. 4–7.
5. Yao J.T.R. Concept of structural control // *J. Struct., Div., ASCE*. 1972. Vol. 98, No. 17. P. 1567–1574.
6. Перельмутер А.В. Управление поведением несущих конструкций. М.: Изд-во АСВ, 2011. 184 с.
7. Ляхович Л.С. Повышение первой частоты собственных колебаний оптимальным изменением расположения внешней массы // *Вестн. Том. гос. архитектурно-строит. ун-та*. 2014. № 4. С. 70–80.
8. Соболев Ю.В., Василькин А.А., Колосков А.Д. Определение напряженно-деформированного состояния стенки с геометрическими дефектами в области монтажного стыка численными методами // *Пром. и гражд. стр-во*. 2005. № 12. С. 44–45.
9. Демидов Н.Н., Меликова В.Г. О влиянии неравномерных осадок на напряженно-деформированное состояние стержневых пространственных конструкций // *Пром. и гражд. стр-во*. 2015. № 10. С. 29–32.
10. Тур В.И. Предварительное напряжение сферического сетчатого купола // *Вестн. Ульянов. гос. техн. ун-та*. 1998. № 2. С. 98–103.
11. Кузьмичева И.Г., Колесников А.Г. Регулирование усилий предварительным напряжением отдельных элементов // *Проблемы и достижения современной науки*. 2016. № 1. С. 113–116.
12. Денисова А.П., Расщепкина С.А. Методы оптимального проектирования строительных конструкций. М.: Изд-во АСВ, 2012. 216 с.
13. Flager Forest, Adya Akshay, Haymaker John, Fischer Martin. A bi-level hierarchical method for shape and member sizing optimization of steel truss structures // *Computers and Structures*. 2014. Vol. 131. P. 1–11.
14. Hoppe Sandrine, Meimaroglou Dimitrios, Camargo Mauricio, Fonteix Christian, Pla Fernand. Design and multicriteria optimization of a two-stage reactive extrusion process for the Synthesis of Thermoplastic Polyurethanes // *Engineering*. 2012. No. 4. P. 497–514.
15. Ляхович Л.С., Акимов П.А., Тухфатуллин Б.А. Критерии минимальной материалоемкости стержней прямоугольного поперечного сечения при ограничениях по устойчивости или на величину первой собственной частоты // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017. № 1. С. 9–22.
16. Василькин А.А. К построению автоматизированной системы определения оптимальных параметров стальных конструкций // *Вестн. гражд. инженеров*. 2017. № 4. С. 61–66.
17. Василькин А.А. Информационная технология автоматизации поддержки поиска проектных решений стальных конструкций // *Пром. и гражд. стр-во*. 2016. № 5.
18. Лубо Л.Н., Миронков Б.А. Плиты регулярной пространственной структуры. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1976. 104 с.

19. Х и с а м о в Р.И. Расчет и конструирование структурных покрытий. Киев, 1981. 48 с.
20. Н и к и т ю к А.В., М о с к о в к и н а А.А., З у е в а И.И. Достоинства и недостатки структурных конструкций // Вестн. ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2011. № 1. С. 99–104.
21. З у е в а И.И., И в а н о в а С.Л. Особенности проектирования структурных конструкций типа «ЦНИИСК» // Вестн. ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2013. № 1. С. 91–97.
22. М а р у т я н А.С. Решетки ферм из круглых, овальных и плоскоовальных труб // Инвестиции, строительство, недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики: Материалы VII Междунар. науч.-практ. конф.: В 2 ч. / Под ред. Т.Ю. Овсянниковой, И.Р. Салагор. М., 2017. С. 401–406.
23. Т у с н и н А.Р. Особенности расчетов стальных конструкций с использованием современных вычислительных комплексов // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: Сб. материалов Междунар. науч. конф. / Отв. ред.: Т.И. Квитка, И.П. Молчанова. М., 2015. С. 215–218.
24. Б е л ы й Г.И. К расчету на устойчивость стержневых элементов стальных конструкций // Вестн. гражд. инженеров. 2013. № 2. С. 44–48.

Василькин Андрей Александрович, канд. техн. наук, доц.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Щербина Сергей Викторович, зав. сектором расчетных исследований НОЦ КМ, г. Москва

Денякова Виктория Викторовна, студ.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Получено после доработки 16.03.18

Vasilkin Andrey Aleksandrovich, PhD, Ass. Professor

Moscow State (National Research) University of Civil Engineering, Russia

Scherbina Sergey Viktorovich, Head of laboratory of Numerical Modeling, Moscow, Russia

Denyakova Victoria Viktorovna, Student

Moscow State (National Research) University of Civil Engineering, Russia

AUTOMATED SEARCH FOR THE CONSTRUCTION OF A STRUCTURAL PLATE OF MINIMUM MASS BY THE METHOD OF REGULATION OF FORCES

The article suggests the application of methods for controlling the behavior of load-bearing steel structures, namely the regulation of the stress-strain state of the structural plate. The behavior control regulators are selected, the range of their admissible values is defined. The metal consumption is taken as a criterion for the effectiveness of the solutions obtained. An automated computational algorithm is developed that allows varying the variable parameters of a design. On the basis of automated synthesis and analysis of more than 400 design variants, the most effective values of regulators are determined, which allow obtaining the most economical design solution of the steel structure.

Key words: control of structural behavior, stress regulation, effective solution search, structural plates.

REFERENCES

1. Tusnín A.R. Avtomatizatsiya raschetov nesushchey sposobnosti elementov stal'nykh konstruksiy [Automation of strength design of steel structure]. Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka [Construction materials, the equipment, technologies of XXI century]. 2012. No. 2. Pp. 31–33. (in Russian)
2. Ereemeev P.G. Nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie proektirovaniya, izgotovleniya i montazha metallicheskih konstruksiy futbol'nykh stadionov [Scientific and technical support of designing, manufacturing and installation of metal constructions of football stadiums]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]. 2016. No. 12. Pp. 24–30. (in Russian)
3. Abovskiy N.P. Upravlyaemye konstruksii [Construction management]. Krasnoyarsk, 1998. 433 p. (in Russian)
4. Volkov A.A. Kibernetika stroitel'nykh sistem. Kiberfizicheskie stroitel'nye sistemy [Cybernetics of building systems. Cyberphysical building systems]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]. 2017. No. 9. Pp. 4–7. (in Russian)
5. Yao J.T.R. Concept of structural control. J. Struct., Div., ASCE. 1972. Vol. 98, No. 17. Pp. 1567–1574.
6. Perel'muter A.V. Upravlenie povedeniem nesushchikh konstruksiy [Management the behavior of load-bearing structures]. Moscow, 2011. 184 p. (in Russian)
7. Lyakhovich L.S. Povyshenie pervoy chastoty sobstvennykh kolebaniy optimal'nym izmeneniyem raspolozheniya vneshney massy [An increase in the first frequency of natural oscillations by an optimal change in the location of the external mass]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building]. 2014. No. 4. Pp. 70–80. (in Russian)
8. Sobolev Yu.V., Vasil'kin A.A., Koloskov A.D. Opredelenie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya stenki s geometricheskimi defektami v oblasti montazhnogo styka chislennymi metodami [Determination of the stress-strain state of the wall with geometric defects in the area of the joint by numerical methods]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]. 2005. No. 12. Pp. 44–45. (in Russian)
9. Demidov N.N., Melikova V.G. O vliyanií neravnomernykh osadok na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie sterzhnevyykh prostranstvennykh konstruksiy [On the influence of non-uniform deposits on the stress-strain state of rod-like spatial structures]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]. 2015. No. 10. Pp. 29–32. (in Russian)
10. Tur V.I. Predvaritel'noe napryazhenie sfericheskogo setchatogo kupola [Preliminary stress of a spherical mesh dome]. Vestnik Ul'yanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Ulyanovsk State Technical University]. 1998. No. 2. Pp. 98–103. (in Russian)
11. Kuz'micheva I.G., Kolesnikov A.G. Regulirovanie usilyi predvaritel'nym napryazheniyem otdel'nykh elementov [Regulation of efforts by the preliminary tension of separate elements]. Problemy i dostizheniya sovremennoy nauki [Problems and achievements of modern science]. 2016. No. 1. Pp. 113–116. (in Russian)
12. Denisova A.P., Rasshchepkina S.A. Metody optimal'nogo proektirovaniya stroitel'nykh konstruksiy [Methods of optimum design of building constructions]. Moscow, 2012. 216 p. (in Russian)
13. Flager Forest, Adya Akshay, Haymaker John, Fischer Martin. A bi-level hierarchical method for shape and member sizing optimization of steel truss structures. Computers and Structures. 2014. Vol. 131. Pp. 1–11.

14. Hoppe Sandrine, Meimaroglou Dimitrios, Camargo Mauricio, Fonteix Christian, Pla Fernand. Design and multicriteria optimization of a two-stage reactive extrusion process for the Synthesis of Thermoplastic Polyurethanes. *Engineering*. 2012. No. 4. Pp. 497–514.
15. Lyakhovich L.S., Akimov P.A., Tukhfatullin B.A. Kriterii minimal'noy materialoemkosti sterzhney pryamougol'nogo poperechnogo secheniya pri ogranicheniyakh po ustoychivosti ili na velichinu pervoy sobstvennoy chastoty [Criteria of the minimum material capacity of cores of rectangular cross section at restrictions on stability or at a size of the first own frequency]. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017. No. 1. Pp. 9–22. (in Russian)
16. Vasil'kin A.A. K postroeniyu avtomatizirovannoy sistemy opredeleniya optimal'nykh parametrov stal'nykh konstruksiy [Development of the automated system of determination of optimum parameters of steel structures]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]*. 2017. No. 4. Pp. 61–66. (in Russian)
17. Vasil'kin A.A. Informatsionnaya tekhnologiya avtomatizatsii podderzhki poiska proektnykh resheniy stal'nykh konstruksiy [Information technology of automation of support of search of design solutions of steel structures]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]*. 2016. No. 5. (in Russian)
18. Lubo L.N., Mironkov B.A. Plity regul'yarnoy prostranstvennoy struktury [Plates of regular spatial structure]. Leningrad, 1976. 104 p. (in Russian)
19. Khisamov R.I. Raschet i konstruirovaniye strukturnykh pokrytiy [Calculation and designing of structural coverings]. Kiev, 1981. 48 p. (in Russian)
20. Nikityuk A.V., Moskovkina A.A., Zueva I.I. Dostoinstva i nedostatki strukturnykh konstruksiy [Advantages and disadvantages of structural structures]. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura [PNRPU Construction and Architecture Bulletin]*. 2011. No. 1. Pp. 99–104. (in Russian)
21. Zueva I.I., Ivanova S.L. Osobennosti proektirovaniya strukturnykh konstruksiy tipa «TsNIISK» [Features of the design of structural structures such as “CNIISK”]. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura [PNRPU Construction and Architecture Bulletin]*. 2013. No. 1. Pp. 91–97. (in Russian)
22. Marutyana A.S. Reshetki ferm iz kruglykh, oval'nykh i ploskooval'nykh trub [Lattices of farms from round, oval and ploskoovalny pipes]. *Investitsii, stroitel'stvo, nedvizhimost' kak material'nyy bazis modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya ekonomiki: Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Investments, construction, real estate as material basis of modernization and innovative development of economy: Materials VII of the International scientific and practical conference]*. Moscow, 2017. Pp. 401–406. (in Russian)
23. Tusnin A.R. Osobennosti raschetov stal'nykh konstruksiy s ispol'zovaniem sovremennykh vychislitel'nykh kompleksov [Features of calculations of steel structures with use of modern computer systems]. *Integratsiya, partnerstvo i innovatsii v stroitel'noy nauke i obrazovanii: Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii [Collection of materials of the International scientific conference]*. Moscow, 2015. Pp. 215–218. (in Russian)
24. Belyy G.I. K raschetu na ustoychivost' sterzhnevnykh elementov stal'nykh konstruksiy [To calculation on stability of rod elements of steel structures]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]*. 2013. No. 2. Pp. 44–48. (in Russian)

УДК 624.154

А.Б. ПОНОМАРЕВ, Д.Н. СУРСАНОВ, Е.О. ЕРЖАКОВСКИЙ

**К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ
НА ЗАТОРФОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

Целью исследования являлось определение несущей способности свай в сложных инженерно-геологических условиях с учетом торфяной прослойки и технологических аспектов погружения свай на площадке строительства. Были проанализированы инженерно-геологические условия, определена несущая способность свай по данным статического зондирования, динамических и статических испытаний. В ходе работ были выявлены существенные отличия полученных значений несущей способности свай по данным статического зондирования, динамических, статических испытаний свай и требований действующих нормативных документов. Сделан вывод о том, что значения несущей способности свай, полученные по данным статического зондирования и динамических испытаний, показали достаточную сходимость с результатами полевых тестов. Наглядно показано существенное влияние грунтовых условий на выбор типа оборудования для погружения свай.

К л ю ч е в ы е с л о в а: торф, висячие сваи, несущая способность, статические испытания свай.

По данным различных источников [1–3] от 10 до 20 % территории нашей страны заторфовано. Торф отличается большой сжимаемостью, малым сопротивлением сдвигу, значительной усадкой при осушении, ярко выраженными реологическими свойствами. В таких регионах, как Архангельская, Вологодская, Нижегородская, Псковская, Владимирская области и других, заторфованность достигает до 50 % территорий. Для них проблема строительства на заторфованных территориях стоит особенно остро.

Вопросами инженерной подготовки территорий занимались Н.П. Коваленко, З.С. Стельмах, В.И. Румянцева [4], Ю.М. Абелев, В.И. Крутов [5], П.А. Коновалов [6], М.Н. Лавриков, О.А. Шутова [7].

Для Перми проблема заторфованности территорий также актуальна. Строители столкнулись с ней в 80-х гг. XX в. при освоении пойменной части р. Камы, названной микрорайоном Камская долина. Основным достоинством Камской долины тогда и сейчас является ее географическое положение, близкое к центру города. Исследования, посвященные инженерной подготовке данной территории, приведены в трудах И.А. Новоселова, В.А. Березнева, О.С. Федотовой, Н.С. Тарасова [8, 9], М.Ш. Димухаметова и Д.М. Димухаметова [10].

В 1983 г. началась инженерная подготовка территории под строительство будущего микрорайона – болота и торфяники были засыпаны песчано-гравийной смесью, добытой в русле Камы по технологии гидронамыва. Согласно генеральному плану развития г. Перми того времени в микрорайоне Камская долина должно было проживать до 200 тыс. чел. Однако по

причине прекращения финансирования в начале 90-х гг. XX столетия освоение Камской долины было приостановлено.

На сегодняшний день это достаточно большая территория, находящаяся практически в центре Перми, представляет собой коммерческий интерес для дальнейшего освоения. Однако существует проблема неравномерности намыва песчаного грунта на толщах заторфованных грунтов по причине свертывания этих работ в конце прошлого века. При совмещении карт мощностей торфяных отложений и намывных грунтов выяснилось, что на некоторых участках мощность слоя торфа доходит до 5–6 м, при толщине слоя песка не более 0,5 м, и наоборот, – на участках с мощностью торфа менее 1 м имеется значительный массив намывного грунта. С учетом данного факта о равномерной консолидации торфяной прослойки за последние 25–30 лет говорить не приходится.

В настоящее время территория получила очередной импульс развития благодаря открытию федерального медицинского комплекса «Город сердца», к которому относится объект исследования – свайный фундамент лабораторного корпуса. В геоморфологическом отношении площадка работ приурочена к I правобережной надпойменной террасе Камы. В геологическом строении участка изысканий принимают участие техногенные грунты, биогенные и аллювиальные отложения, коренные грунты Пермской системы. В гидрогеологическом отношении (в пределах исследованных глубин до 20,0 м) на момент изысканий на площадке был зафиксирован уровень грунтовых вод на глубинах 0,3–2,0 м, приуроченный к намывным грунтам. Геологический разрез площадки представлен на рис. 1, прочностные и деформационные характеристики грунта приведены в табл. 1.

Фундаменты исследуемого здания – свайные с монолитными железобетонными низкими ростверками. По данным проектной документации сваи – забивные железобетонные, сплошного квадратного сечения с ненапрягаемой арматурой марки С100.30-10.У по серии 1.011.1-10, в.1 (ГОСТ 19804–2012), сваи длиной 10 м, сечением 300×300 мм, ударостойкие, несущая способность сваи должна была составить 530 кН, при заделке свай в слой песка гравелистого (ИГЭ-4) на 3,9–4,3 м. Погружение свай осуществлялось трубчатым дизель-молотом СП-76А на базе копра КГ-12М, с массой ударной части 1,8 т.

Таблица 1. Характеристики грунта

Грунт	Расчетные значения для расчетов по несущей способности ($\alpha = 0,95$)			Модуль деформации E , МПа
	плотность грунта ρ , г/см ³	сцепление c , кПа	угол внутреннего трения φ , град	
ИГЭ-2. Песок гравелистый с линзами суглинка	1,77	–	33	27
ИГЭ-3. Торф	0,99	18	17	1,14
ИГЭ-4. Песок средней крупности с прослойками суглинка	1,91	3	35	30

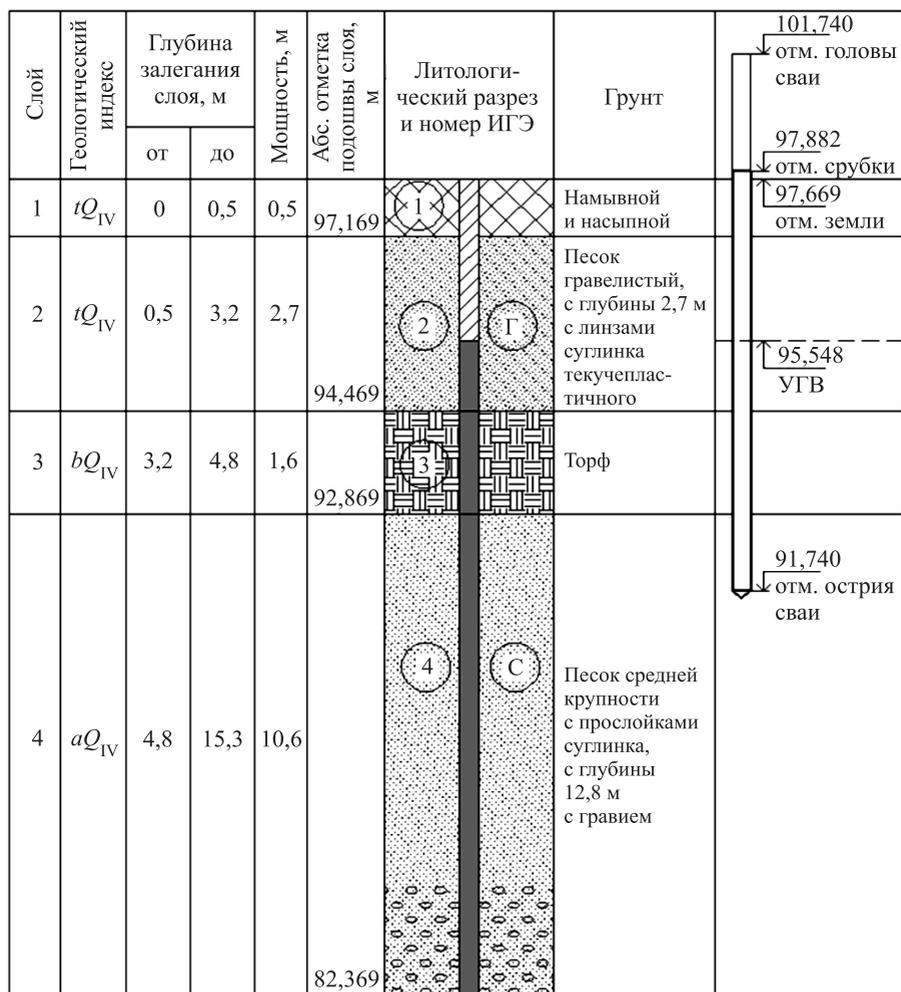


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез площадки

ИГЭ-1 – намывной грунт, мощность слоя 0,5 м; ИГЭ-2 – песок гравелистый с глубины 2,7 м с линзами суглинка текучепластичного, мощность слоя 2,7 м; ИГЭ-3 – торф, мощность слоя 1,6 м; ИГЭ-4 – песок средней крупности с прослойками суглинка, с глубины 12,8 м с гравием, мощность слоя 10,5 м

Выполненный авторами анализ данного проектного решения указывает на его ошибочность с точки зрения возможности погружения подобной сваи на заданную глубину выбранным оборудованием. Практика подтвердила данное предположение – по результатам забивки свай фактическая глубина заделки в ИГЭ-4 не превышала 1–1,2 м, а отказ свай составлял от 2 до 5 мм.

По мнению авторов, погружение сваи на заданную проектом глубину могло быть достигнуто, если были бы приняты следующие, достаточно известные меры:

- увеличение энергии удара молота, в том числе применение гидравлического сваебойного молота;
- смена оборудования с ударного на виброударное или в целом вибрационное.

Кроме того, возникает вопрос о необходимости использования свай указанной выше длины на заданные проектом отметки, с точки зрения достижения требуемой несущей способности. В отчетах об инженерно-геологических испытаниях на площадке строительства также отсутствовали результаты полевых испытаний грунтов, за исключением данных статического зондирования зондом I типа.

Вопросами сопоставления результатов зондирования и натуральных испытаний свай занимались А.А. Бартоломей, И.М. Омельчак, Б.С. Юшков [11], А.Ф. Чичкин [12], А.Б. Пономарев, М.А. Безгодов, А.В. Захаров, Д.Н. Сурсанов [13, 14], А.Л. Готман [15], Б.В. Гончаров, О.В. Галимнурова, И.И. Хабибуллин [16], Ю.М. Шеменков, Л.Г. Мариупольский, И.Б. Рыжков и др. Кроме того, оценка несущей способности свай по результатам данных статического зондирования грунтов отражена в СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты».

Авторами были сопоставлены результаты определения несущей способности свай по данным статического зондирования (с учетом фактического расположения острия свай), контрольных динамических испытаний и расчета несущей способности свай по грунту с учетом требований СП 24.13330.2011.

Методика расчета несущей способности свай, кН:

Несущая способность свай по грунту

п. 7.2.2 СП 24.13330.2011 219,4

Несущая способность свай по данным динамических испытаний

п. 7.3.7 СП 24.13330.2011 1060

По данным статического зондирования

п. 7.3.10 СП 24.13330.2011 756,6

Учитывая значительный разброс результатов расчета, недобивку свай до проектной отметки, сложные инженерно-геологические условия площадки, проектной организацией было принято решение о статических испытаниях двух свай на площадке строительства. Для этого авторами был разработан стенд для испытания свай статической вдавливающей нагрузкой (рис. 2).

С учетом требований проектной организации и несущей способности свай по материалу нагрузка на сваю при статических испытаниях была принята равной 1020 кН с целью достижения «срыва» свай по грунту. Конструкция стенда рассчитана на нагрузки, превышающие на 20 % наибольшие нагрузки, предусмотренные программой испытаний. Испытания свай производились после забивки свай с «отдыхом».

В качестве нагрузочного устройства использовался гидравлический домкрат ДУ200П300 грузоподъемностью 200 т, с возможностью фиксации каждой ступени нагружения по манометру. Нагружение испытываемой сваи производилось при помощи ручной насосной станции НРГ 7036 равномерно, ступенями по 102 кН ($\approx 1/10$ от максимальной нагрузки 1020 кН).

В соответствии с ГОСТ 5686–2012 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями» со всех датчиков для измерения осадки свай на каждой ступени нагружения снимались отсчеты в следующей последовательности: нулевой отсчет – перед приложением нагрузки, первый отсчет – сразу после приложения нагрузки, затем поэтапно четыре отсчета с интервалом 30 мин и далее



Рис. 2. Стенд для испытания свай статической нагрузкой

через каждый час до условного прекращения деформаций (затухания перемещений). За критерий условного прекращения деформаций при испытании свай принималась скорость осадки сваи на данной ступени нагружения, не превышающая 0,1 мм за последний час наблюдений. Блок-схема проведения нагружения во время испытаний приведена на рис. 3.

Нагрузка доводилась до величины, при которой суммарная осадка сваи была не менее 30 мм, но не более 1020 кН. При осадках меньше 30 мм

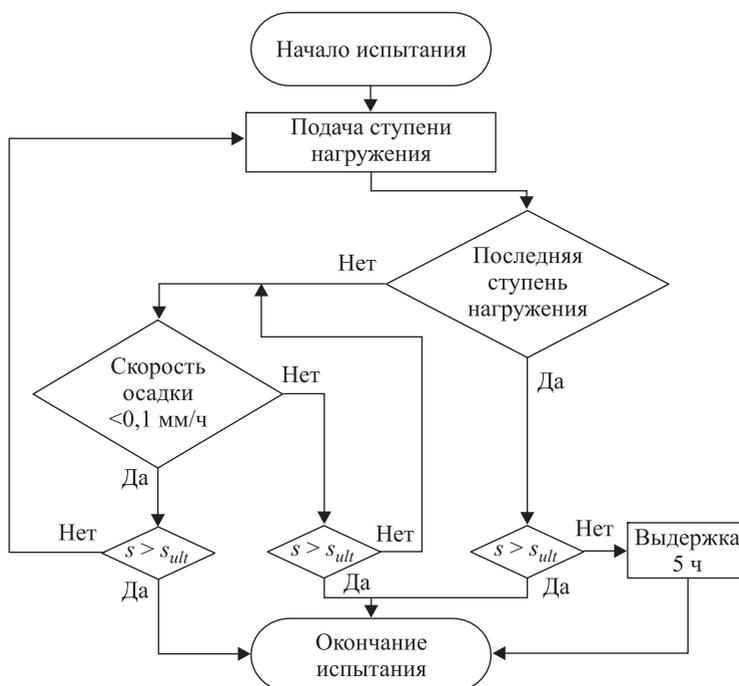


Рис. 3. Блок-схема проведения нагружения

s – суммарная осадка сваи; s_{ult} – предельное значение осадки при статических испытаниях с условной стабилизацией (затуханием) осадки

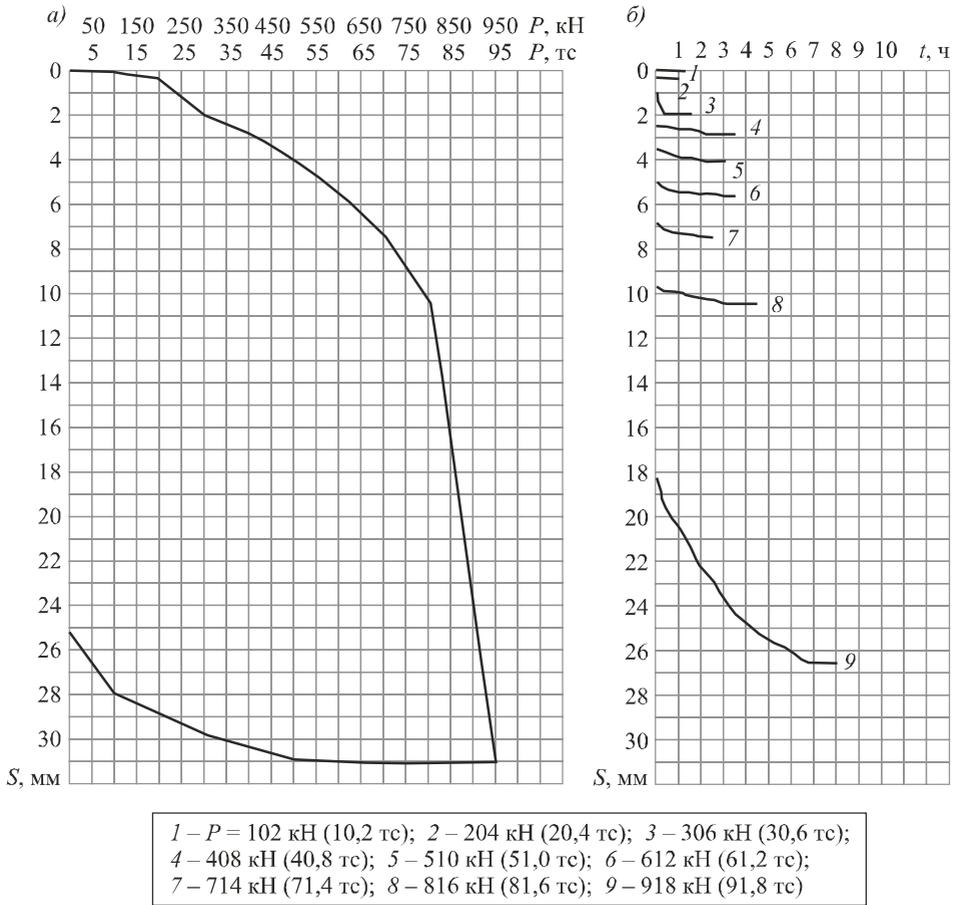


Рис. 4. Результаты статических испытаний свай вдавливающей нагрузкой
а – зависимость перемещения сваи s от нагрузки P ; б – изменение перемещения сваи s во времени (по ступеням нагружения)

продолжительность выдержки сваи под нагрузкой на последней ступени нагружения, даже при условном прекращении деформаций, составляла не менее 5 ч. Разгрузка сваи производилась в соответствии с требованиями ГОСТ 5686–2012, касающимися скорости разгрузки, порядка снятия отсчетов и наблюдения за упругими деформациями.

По результатам проведения испытаний составлены графики зависимости осадки от нагрузки $s = f(P)$ и изменения перемещений во времени $s = f(t)$ по ступеням нагружения для каждой сваи. Графики испытаний одной из свай представлены на рис. 4, результаты двух статических испытаний свай вдавливающей нагрузкой приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты статических испытаний свай

Параметр	Испытания	
	№ 1	№ 2
Осадка за весь период испытания, мм	31,06	32,37
Несущая способность сваи, кН	918	918

Выводы. 1. Контрольные полевые испытания свай статической вдавливающей нагрузкой показали, что в подобных инженерно-геологических условиях, осложненных торфяной прослойкой, требуемая несущая способность может быть достигнута. В данном случае она составляет $F_d = 918$ кН. Характер полученных графиков испытаний $s = f(P)$ позволяет сделать вывод о работе испытываемых свай в диапазоне действующих нагрузок как висячих свай.

2. Существенные отличия несущей способности сваи, полученной по п.7.2.2 СП 24.13330.2011 $F_d = 219,4$ кН, от данных статических и динамических испытаний сваи, а также данных статического зондирования указывают на то, что при расчете несущей способности свай в инженерно-геологических условиях, осложненных торфяной прослойкой, данная методика расчета не дает точного результата ввиду того, что процессы консолидации и уплотнения грунтов, происходящие в подобных условиях, не учитываются в действующей нормативной литературе.

3. Рассмотренный пример наглядно показал, что тип и параметры оборудования для погружения свай должны определяться в первую очередь инженерно-геологическими условиями площадки строительства и типом погружаемых свай, а не ограничиваться имеющейся у подрядчика техникой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дягтерев К.С. Торф – недооцененный ресурс России // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2016. № 3. С. 44–51.
2. Невзоров А.Л., Никитин А.В., Заручевных А.В. Город на болоте: Моногр. / Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012. 157 с.
3. Козмин Д.Д. Оценка деформаций ползучести оснований, сложенных торфяными грунтами под откосами насыпей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л.: ЛИСИ, 1986. 21 с.
4. Коваленко Н.П., Стельмах З.С., Румянцева В.И. Технология устройства инженерных коммуникаций на заторфованных территориях. Архангельск, 1971. 38 с.
5. Абелев Ю.М., Крутов В.И. Возведение зданий и сооружений на насыпных грунтах. М.: Госстройиздат, 1962. 148 с.
6. Коновалов П.А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. М.: Изд-во АСВ, 2011. 383 с.
7. Лавриков М.Н., Шутова О.А. К вопросу об исследовании свойств заторфованных грунтов // Вестн. ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2015. № 4. С. 89–102.
8. Новоселов И.А., Березнев В.А. Особенности инженерной подготовки и проектирование фундаментов в условиях Камской долины // Молодежная наука 2016: технологии, инновации: сб. тр. конф. (Пермь, 14–18 марта, 2016). Пермь. 2016. Т. 2. С. 93–96.
9. Федотова О.С., Тарасов Н.С., Березнев В.А. Инженерная подготовка и строительство на слабых грунтах // Молодежная наука 2017: технологии, инновации: сб. тр. конф. (Пермь, 13–17 марта, 2017). Пермь. 2017. Ч. 2. С. 232–234.
10. Димухаметов М.Ш., Димухаметов Д.М. Физико-механические свойства заторфованных грунтов Камской долины г. Перми и их изменение в результате действия пригрузки // Вестн. Перм. ун-та. Геология. 2009. № 11. С. 94–107.

11. Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков Б.С. Прогноз осадок свайных фундаментов. М.: Стройиздат, 1994. 384 с.
12. Чичкин А.Ф. Динамическое зондирование и несущая способность свай // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. №. 3. (https://elibrary.ru/download/elibrary_21357003_87427194.pdf).
13. Пономарев А.Б., Безгоднов М.А. Сопоставление результатов натурных испытаний свай с результатами статического зондирования в слабых водонасыщенных глинистых грунтах с учетом фактора времени // Вестн. граждан. инженеров. 2014. № 2. С. 79–85.
14. Пономарев А.Б., Захаров А.В., Сурсанов Д.Н. К вопросу использования верхнепермских отложений в качестве грунтовых оснований // Вестн. ПНИПУ. Урбанистика. 2011. № 1. С. 74–80.
15. Готман А.Л., Глазачев А.О. Исследование вертикально нагруженных буронабивных свай в глинистых грунтах и их расчет по данным статического зондирования // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2014. № 2. С. 7–11.
16. Гончаров Б.В., Галимнурова О.В., Хабибуллин И.И. О расчете предельной горизонтальной нагрузки на сваи-колонны по данным статического зондирования // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2012. № 1. С. 2–5.

Пономарев Андрей Будимирович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: spstf@pstu.ru
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Сурсанов Дмитрий Николаевич, ст. препод.; E-mail: sursanov@mail.ru
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Erzhakovskiy Evgeniy Olegovich, студ.; E-mail: erzhakovskiy@mail.ru
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Получено после доработки 13.03.18

Ponomarev Andrey Budimirovich, DSc, Professor; E-mail: spstf@pstu.ru
Perm National Research Polytechnic University, Russia
Sursanov Dmitriy Nikolaevich, Senior Lecturer; E-mail: sursanov@mail.ru
Perm National Research Polytechnic University, Russia
Erzhakovskiy Evgeniy Olegovich, Student; E-mail: erzhakovskiy@mail.ru
Perm National Research Polytechnic University, Russia

TO THE QUESTION OF DETERMINATION OF PILES BEARING CAPACITY ON PEATY TERRITORIES

The study deals with the bearing capacity of driven piles in complex geological conditions, taking into account the peat layer and the technology aspects of driven pile foundations on the construction site. The geological conditions of construction site are analyzed, the values of bearing capacity of the piles are determined according to cone penetration tests (CPT), dynamic and static load tests (SLT) of the piles. Significant differences between pile bearing capacity values obtained according to CPT data, dynamic, static load tests and the requirements of the current regulatory documents are founded. It is observed that the bearing capacity of piles, derived from CPT and dynamic load tests, showed sufficient convergence with the results of field static load tests. The paper clearly shows the significant influence of soil conditions on the choice of the equipment type for driven piles.

К е у о р д с: peat, hanging piles, bearing capacity, static testing of piles.

REFERENCES

1. Dyagterev K.S. Torf – nedootsenenny resurs Rossii [Peat – the underestimated resource of Russia]. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie* [Sanitaryware, heating and ventilation systems]. 2016. No. 3. Pp. 44–51. (in Russian)
2. Nevzorov A.L., Nikitin A.V., Zaruchevnykh A.V. *Gorod na bolote: monogr.* [The city on the swamp]. Arkhangel'sk: IPC SAFU, 2012. 157 p. (in Russian)
3. Kozmin D.D. Otsenka deformatsiy polzuchesti osnovaniy, slozhennykh torfyanymi gruntami pod otkosami nasypey: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Assessment of deformations of creep of the bases put by peat soil under slopes of embankments: Extended abstract of candidate's thesis]. Leningrad, 1986. 21 p. (in Russian)
4. Kovalenko N.P., Stel'makh Z.S., Remyantseva V.I. *Tekhnologiya ustroystva inzhenernykh kommunikatsiy na zatorfovannykh territoriyakh* [Technology device utilities to by peaty territories]. Arkhangel'sk, 1971. 38 p. (in Russian)
5. Abelev Yu.M., Krutov V.I. *Vozvedenie zdaniy i sooruzheniy na nasypnykh gruntakh* [The construction of buildings and structures on bulk soils]. Moscow, Gosstroyizdat, 1962. 148 p. (in Russian)
6. Konovalev P.A. *Osnovaniya i fundamentey rekonstruiemykh zdaniy* [Bases and foundations of the reconstructed buildings]. Moscow, 2011. 383 p. (in Russian)
7. Lavrikov M.N., Shutova O.A. *K voprosu ob issledovanii svoystv zatorfovannykh gruntov* [To the question about the study of the properties by peaty soils]. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Papers of the PNRPU. Construction and architecture]. 2015. No. 4. Pp. 89–102. (in Russian)
8. Novoselov I.A., Bereznev V.A. *Osobennosti inzhenernoy podgotovki i proektirovanie fundamentov v usloviyakh Kamskoy doliny* [Features of engineering training and design of foundations in terms of Kama valley]. *Molodezhnaya nauka 2016: tekhnologii, innovatsii: sbornik trudov konferentsii* [Proc. Conf. "Youth science 2016: technology, innovation"]. Perm, 2016. P. 2. Pp. 93–96. (in Russian)
9. Fedotova O.S., Tarasov N.S., Bereznev V.A. *Inzhenernaya podgotovka i stroitel'stvo na slabykh gruntakh* [Engineering training and construction on soft soils]. *Molodezhnaya nauka 2017: tekhnologii, innovatsii: sbornik trudov konferentsii* [Proc. Conf. "Youth science 2016: technology, innovation"]. Perm, 2017. P. 2. Pp. 232–234. (in Russian)
10. Dimukhmetov M.Sh., Dimukhmetov D.M. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva zatorfovannykh gruntov Kamskoy doliny g. Permi i ikh izmenenie v rezul'tate deystviya prigruzki* [Physico-mechanical properties by peaty soils of the Kama valley, Perm and change the result of the additional load]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya* [Papers of the Perm University. Geology]. 2009. No. 11. Pp. 94–107. (in Russian)
11. Bartolomey A.A., Omel'chak I.M., Yushkov B.S. *Prognoz osadok svaynykh fundamentov* [Forecast sediment pile foundations]. Moscow, Stroyizdat, 1994. 384 p. (in Russian)
12. Chichkin A.F. *Dinamicheskoe zondirovanie i nesushchaya sposobnost' svay* [Dynamic sounding and bearing capacity of piles]. *Internet-vestnik VolgGASU. Seriya: Politematicheskaya* [Internet – Papers of the VolgGASU. Series: Polythematic]. 2013. No. 3. (https://elibrary.ru/download/elibrary_21357003_87427194.pdf). (in Russian)
13. Ponomarev A.B., Bezgodov M.A. *Sopostavlenie rezul'tatov naturnykh ispytaniy svay s rezul'tatami staticheskogo zondirovaniya v slabykh vodonasyshchennykh glinistykh gruntakh s uchetom faktora vremeni* [Comparison of the pile load test results with the results of the static cone penetration test in soft water-saturated clay-bearing soils taking into account the time factor]. *Vestnik*

- graždanskikh inzhenerov [Herald of civil engineers]. 2014. No. 2. Pp. 79–85. (in Russian)
14. Ponomarev A.B., Zakharov A.V., Sursanov D.N. K voprosu ispol'zovaniya verkhnepermских otlozheniy v kachestve gruntovykh osnovaniy [By the use of upper Permian sediments as ground bases]. Vestnik PNIPU. Urbanistika [Papers of the PNRPU. Urbanism]. 2011. No. 1. Pp. 74–80. (in Russian)
 15. Gotman A.L., Glazachev A.O. Issledovanie vertikal'no nagruzhennykh buronabivnykh svay v glinistykh gruntakh i ikh raschet po dannym staticheskogo zondirovaniya [Research of vertically loaded bored piles in clay soil and their calculation for data of static sounding]. Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov [Bases, foundations and soil mechanics]. 2014. No. 2. Pp. 7–11. (in Russian)
 16. Goncharov B.V., Galimnurova O.V., Khabibullin I.I. O raschete predel'noy gorizont'al'noy nagruzki na svai-kolonny po dannym staticheskogo zondirovaniya [About calculation of maximum horizontal load on a pile column according to static sounding]. Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov [Bases, foundations and soil mechanics]. 2012. No. 1. Pp. 2–5. (in Russian)
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ



УДК 691.327:666.972.7.699.887.5

Р.А. НАЗИРОВ, Н.А. ЗАЙЦЕВА, П.Ю. ВЕДЕ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УДЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ И ЭМАНИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Представлены результаты исследования многокомпонентного строительного материала – тяжелого бетона по определению удельной эффективной активности естественных радионуклидов и эманированию по радону в воздушную среду. Предложена формула для расчета и прогнозирования естественной радиоактивности многокомпонентного материала (на примере тяжелого бетона) на основе данных о естественной радиоактивности и массовом составе его компонентов: цемента, мелкого и крупного заполнителя. Установлена принципиальная возможность получения достоверных расчетных значений удельной эффективной активности многокомпонентных строительных материалов на основе цемента. Показано, что прогнозирование эманирования многокомпонентных цементных составов по аддитивному закону не представляется возможным без учета изменения увеличения эманирования в результате гидратации цемента.

К л ю ч е в ы е с л о в а: радиационная безопасность, естественная радиоактивность, строительные материалы, бетон, удельная эффективная активность, эманирование.

Введение. Примерно 2/3 всей дозовой нагрузки, получаемой человеком в течение жизни, обусловлено воздействием природных источников ионизирующего излучения. Более половины этой дозы формируется за счет внутреннего облучения дочерними продуктами изотопов радона, находящимися в воздухе помещений и в воде (табл. 1). Обеспечение радиационной безопасности населения вызывает необходимость выявления, изучения, оценки естественной радиоактивности строительных материалов и источников поступления радиоактивного газа радона в воздух жилого помещения.

В работе изучаются формирование естественной радиоактивности многокомпонентных строительных материалов и процесс эманирования – выделение радиоактивных атомов радона из строительных материалов в воздушную среду жилого помещения. Тематика исследования особенно актуальна для регионов с повышенным содержанием естественной радиоактивности строительного сырья и высоким содержанием радона в грунте.

© Назиров Р.А., Зайцева Н.А., Веде П.Ю., 2018

Таблица 1. Средние ежегодные эффективные дозы для взрослого населения от естественных источников облучения [1]

Источник облучения	Области с нормальным естественным фоном	
	мЗв	%
Космические лучи	0,39	16,5
Наземное гамма-излучение	0,46	19,4
Внутреннее облучение (без радона)	0,22	9,3
Радон и продукты его распада	1,30	54,8
Итого:	2,37	100

В современной нормативной документации доза облучения от естественных источников ионизирующего облучения не нормируется. Регулирование облучения населения достигается путем установления системы ограничений на облучение населения от отдельных природных источников излучения¹.

Исследователь И.Н. Бекман в своих лекциях повествовал о том, что основными источниками внешнего облучения человека в помещении являются гамма-излучающие природные радионуклиды: радий-226, торий-232 и калий-40, содержащиеся в ограждающих конструкциях. Зная величину $A_{эфф}^2$ и геометрические характеристики помещения, можно рассчитать мощность дозы гамма-излучения внутри помещения, обусловленного естественными радионуклидами (ЕРН), содержащимися в ограждающих конструкциях, и излучением, поступающим из окружающего пространства [1, 2].

Внутреннему облучению человек подвергается за счет вдыхания радиоактивного газа радона. Радиоактивный газ радон – естественный источник радиации, невидимый, не имеющий вкуса и запаха, в 7,5 раза тяжелее воздуха. Атомный номер радона – 86, а атомная масса – 222. Радон-222 имеет период полураспада 3,825 дней и распадается с испусканием альфа-частиц. Продукты распада радона являются радиоактивными элементами и, распадаясь, испускают альфа-, бета- и гамма-излучение. Находясь в искусственной среде мало проветриваемого жилого помещения, человек подвергается облучению за счет повышенного содержания ЕРН и распада дочерних продуктов радона (ДПР) и торона, накапливающихся в воздухе.

Радон, поступающий через органы дыхания, постоянно присутствует в легких человека в концентрации, соответствующей концентрации в воздухе помещения. Облучение радоном приводит к снижению иммунитета и ряду заболеваний, в числе которых онкологические [1, 3, 4]. По оценке службы здравоохранения США у местного населения зарегистрировано около 20 000 случаев заболевания раком легких с летальным исходом, вызванного воздействием радона. Ущерб для здоровья населения, по ее оценке, «возможно

¹ СанПиН 2.6.1.2523–09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009: Гигиенические нормативы. М.: Центр сан.-эпидем. нормирования, гигиен. сертификации и экспертизы Минздрава России, 2009.

² ГОСТ 30108–94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов (с Изменениями N 1, 2). М.: Госстрой России, 1995.

в 10 раз превышает ущерб от загрязнения воздуха вне помещения» [5]. Для снижения показателей заболеваемости, распространенности и смертности в России, как и в других прогрессирующих странах мира, в нормативных документах установлены уровни предельно допустимой концентрации радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий, предусмотрена обязательная противорадоновая защита зданий [4].

Уровень концентрации радона может изменяться в широком диапазоне в зависимости от различных природных и техногенных факторов. Для оценки воздуха помещений используют единицу, которую называют эквивалентной равновесной объемной активностью ($ЭРОА_{Rn} + 4,6ЭРОА_{Tn}$) изотопов радона и торона. Ее предельно допустимое значение для воздуха эксплуатируемых жилых и общественных зданий – 200 Бк/м³. При проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения должно быть предусмотрено, чтобы ЭРОА в воздухе помещений не превышала 100 Бк/м³¹. Следует заметить, что в большинстве случаев из-за малого периода полураспада только небольшая доля торона может выделиться из строительного материала и почвы. Повышенные концентрации торона, как правило, наблюдаются только в регионах, обогащенных торием.

Основные источники поступления радона в воздух помещений – грунт под зданием и эманирование ограждающих конструкций. Оценка первого источника особенно актуальна для малоэтажных зданий, однако имеются сведения, что за счет особенностей конвективного переноса и устройства естественной вентиляции повышенные концентрации радона могут формироваться и на верхних этажах [2]. Методическими указаниями³ устанавливаются нормативы плотности потока радона (ППР) из грунта. Если по результатам определения ППР с поверхности грунта на обследованной площади земельного участка под строительство жилых домов, общественных зданий и сооружений выполняется условие: $ППР + \delta \leq 80 \text{ мБк (м}^2 \cdot \text{с)}$, в котором δ – погрешность значения ППР, то земельный участок соответствует требованиям санитарных правил и гигиенических нормативов по данному показателю. Эманирование радона из строительных материалов не нормируется.

Гамма-фон и концентрация радона, как правило, в помещениях зданий имеют большие значения, чем на открытой местности в результате изменения геометрии окружающего пространства и пониженного воздухообмена. Следует заметить, что по результатам отечественных и зарубежных исследований человек проводит внутри помещений большую часть своей жизни. По некоторым данным, эти значения варьируются от 60 до 90 % [3]. Это обстоятельство особенно актуально для регионов с суровым климатом.

Таким образом, в помещениях создается доза облучения населения от естественных источников излучения, которой можно управлять на основе знаний о формировании нормированного значения эффективной удельной активности $A_{эфф}$ ЕРН. Для корректной оценки мощности источников по-

³ МУ 2.6.1.2398–08. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности. М., 2008.

ступления радона в воздух помещения, радиационного качества строительных материалов требуются знания о величинах и закономерностях формирования их эманирования.

Материалы и методология. Все эксперименты выполнены в лаборатории радиационного контроля Сибирского федерального университета. Концентрации ЕРН в песке, гравии и цементе определяли в их товарном виде. Пробы бетона через 28 сут твердения измельчали до максимальной крупности гравия. Все образцы до измерения выдерживались в течение 15 сут в сосудах Маринелли. Измерения проводили на стационарном гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315 производства фирмы АТОМТЕХ⁴. Величина эффективной удельной активной, $A_{эфф}$, рассчитывалась по формуле

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,3A_{Th} + 0,09A_K, \quad (1)$$

где A_{Ra} и A_{Th} – удельные активности ^{226}Ra и ^{232}Th , находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов; A_K – удельная активность ^{40}K , Бк/кг.

При значении $A_{эфф} < 370$ Бк/кг материалы могут быть применены во всех видах строительства без ограничения^{1,2}.

Эманирование – выделение эманаций радиоактивных газов радона, торона, актинона из твердых веществ. Соответственно различают эманирование по радону, торону и актинону. Определение коэффициента эманирования по радону проводится двумя методами: эманационным и гамма-методом. Известны способы определения коэффициента эманирования ($K_{эм}$) порошковых и штучных проб [6–8], заключающиеся в измерении гамма-активности предварительно деземанированных проб через различные промежутки времени после помещения в герметично закрытый контейнер. Для малоактивных проб с низким $K_{эм}$ используется способ, при котором предварительно измельченную или штучную пробу помещают в герметичную емкость для накопления радона на период от нескольких часов до двух недель. Затем измеряют общее количество радона, накопившегося в емкости, переводя пробу воздуха в ионизационную или сцинтилляционную камеру вакуумным насосом. Содержание радия в пробе устанавливают радиометрическим или радиохимическим методами.

Определение значений коэффициентов эманирования радона из строительных материалов и сырья в нашей работе производилось с помощью радиометра «AlphaGUARDMod. PQ2000»². В основе метода лежит прямое измерение объемной активности радона в герметичной емкости, в которую помещали пробу с известным значением удельной активности радия-226.

Процесс накопления радона в воздухе герметичной емкости объемом V_0 , м³, описывается уравнением баланса⁵

⁴ Методика выполнения измерений содержания естественных радионуклидов радия-226, тория-232, калия-40 и радионуклида цезия-137 в строительных материалах и изделиях на сцинтилляционных спектрометрах типа TL 1309 (МКГ-1309) и МКС-АТ1315. Разработчик: Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ». М., 2009. 20 с.

⁵ Удельная активность ^{222}Rn в воде. Методика выполнения измерений с применением радиометра объемной активности радона-222 «AlphaGUARDMod. PQ2000». PT PositronTechnologyGmbH, 1998. 41 с.

$$(V_0 - V_n) dC(t) = [\eta_0 m - \lambda C(t)(V_0 - V_n)]dt, \quad (2)$$

где η_0 – удельная скорость выделения радона, Бк/(кг · с);

m – масса пробы, кг;

V_n – объем пробы, м³;

$C(t)$ – текущая концентрация радона, Бк/м³;

λ – постоянная распада радона, с⁻¹.

Решение уравнения (2) при начальных условиях $C(t=0) = 0$ имеет вид

$$(V_0 - V_n)C(t) = \eta_0 m(1 - \exp(-\lambda t)). \quad (3)$$

Измерив ряд значений $C(t_i)$ объемной активности радона в воздухе герметичной емкости в моменты времени t_i , получим ряд значений эманлирующей способности вещества, η_i

$$\eta_i = \frac{(V_0 - V_n)C(t_i)}{m(1 - \exp(-\lambda t))}. \quad (4)$$

В качестве оценки действительного значения эманлирующей способности вещества принимается среднее арифметическое по полученным данным η_i при $C(t)$, стремящейся к постоянной величине.

При достижении стационарного состояния концентрации радона в герметичной емкости коэффициент эманирования рассчитывают по формуле

$$K_{эм} = \frac{C_{Rn}V}{A_{Ra}m}, \quad (5)$$

где C_{Rn} – равновесная концентрация, Бк/м³, в герметичной емкости объемом V , м³.

При определении параметров эманирования материалов использован специальный герметичный контейнер объемом 0,05 м³. В контейнер помещались испытуемые образцы и радон-монитор AlphaGUARD. Прибор фиксировал в автоматическом режиме концентрацию радона в воздухе, давление, температуру и влажность каждые 10 мин. Полученная информация при помощи прикладной программы считывалась с радон-монитора и преобразовывалась в текстовый файл. Время экспозиции для каждого образца составляло не менее 12–14 дней. Параметры эманирования для всех материалов бетона, цемента, песка и щебня были определены в естественном состоянии при нормальной влажности.

Результаты и их обсуждения. В табл. 2 представлены расход материалов на 1 м³ тяжелого бетона и показаны расчетные средние значения удельной активности и удельной эффективной активности ЕРН.

Таблица 2. Показатели удельной и эффективной активности материалов с учетом их массового расхода

Материал	²²⁶ Ra, Бк/кг	⁴⁰ K, Бк/кг	²³² Th, Бк/кг	A _{эфф} , Бк/кг	Расход материалов, кг/м ³
Цемент	44,8	62,0	14,8	70,0	490
Песок	19,2	396	20,7	80,4	710
Щебень	19,0	488	26,0	94,5	1180
Бетонный образец	25,0	423	21,9	87,9	2380

Расчет удельной эффективной активности бетонного образца, $A_{эфф}^{обр}$ производился с учетом массового вклада каждого из компонентов и значений их радиоактивности по формуле

$$A_{эфф}^{обр} = A_{эфф}^{ц} \frac{m_{ц}}{\rho} + A_{эфф}^{п} \frac{m_{п}}{\rho} + A_{эфф}^{щ} \frac{m_{щ}}{\rho}, \quad (6)$$

где $A_{эфф}^{ц}$, $A_{эфф}^{п}$, $A_{эфф}^{щ}$ – удельная эффективная активность цемента, песка, щебня соответственно, Бк/кг;

$m_{ц}$, $m_{п}$, $m_{щ}$ – расход цемента, песка, щебня соответственно, кг;

ρ – средняя плотность бетона, кг/м³.

Подставив значения из табл. 2 в уравнение (3), получим 85,3 Бк/кг.

Сравнив расчетное значение $A_{эфф}^{обр}$ с экспериментальным (табл. 2), узнаем отклонение расчетного значения от экспериментального на –3 %.

На рис. 1 представлен график накопления радона в герметичной емкости из пробы тяжелого бетона массой 11 кг естественной влажности.

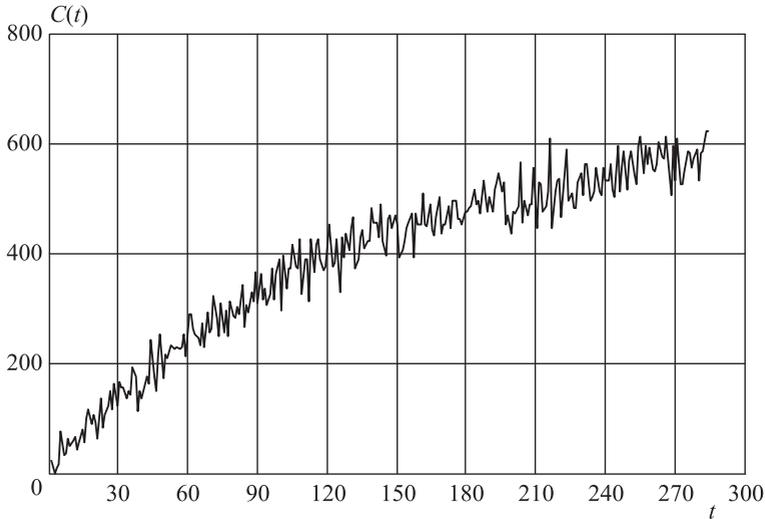


Рис. 1. График накопления радона в герметичной емкости

На основе данных рис. 1 с помощью прикладной программы MathCAD рассчитываются эманлирующая способность и коэффициент эманирования по формулам (4), (5).

На графике, представленном на рис. 2, видно, что равновесие между рождающимися в процессе распада радия атомами радона и выделяющимися в окружающую среду в условиях эксперимента наступает уже через 150–180 ч экспозиции пробы в герметичной емкости.

В табл. 3 приведены результаты расчетов коэффициентов эманирования, эманлирующей способности для компонентов тяжелого бетона.

Рассчитаем эманлирующую способность $\eta^{обр}$ бетонного образца, аналогично коэффициенту удельной эффективной активности по формуле

$$\eta^{обр} = \eta^{ц} \frac{m_{ц}}{\rho} + \eta^{п} \frac{m_{п}}{\rho} + \eta^{щ} \frac{m_{щ}}{\rho}, \quad (7)$$

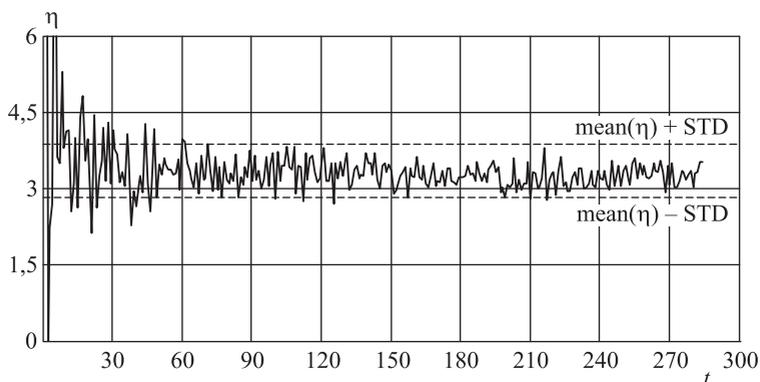


Рис. 2. Изменение величины эманулирующей способности

Таблица 3. Параметры эманулирования компонентов бетонной смеси

Материал	Масса образцов, кг	Эманулирующая способность, Бк/кг	Коэффициент эманулирования	Стандартное отклонение коэффициента эманулирования
Цемент	5,0	0,54	0,012	0,002
Песок	5,0	2,48	0,124	0,012
Щебень	5,0	2,60	0,137	0,027
Бетон	11,0	3,75	0,123	0,021

где $\eta^ц$, $\eta^п$, $\eta^щ$ – эманулирующая способность цемента, песка, щебня соответственно, Бк/кг;

$m_ц$, $m_п$, $m_щ$ – расход цемента, песка, щебня соответственно, кг;

ρ – средняя плотность бетона, кг/м³.

Подставив значения из табл. 2 в уравнение (6), получим 2,14 Бк/кг.

Сравнив расчетное значение $\eta^{обр}$ с экспериментальными данными (табл. 3), определим отклонение расчетного коэффициента от экспериментального на 42,9 %.

В своей работе Э.М. Крисюк отметил, что «вывод о неизменности коэффициента эманулирования при приготовлении бетонов и многокомпонентных материалов скорее всего несправедлив для цемента и других мелкодисперсных добавок», и, если коэффициент эманулирования цемента увеличить в 10 раз, то «совпадение расчетных и измеренных значений значительно улучшится». Расчетная формула считается очевидной и автором в этих публикациях не приводится. Далее Э.М. Крисюк совершенно справедливо отмечает, что «окончательный вывод о возрастании (примерно в 10 раз) коэффициента эманулирования цемента и, возможно, золы при изготовлении бетонов можно дать только на основании прямых измерений» [1]. В работе [2] представлены результаты многочисленных измерений эманулирования у гидравлически активных материалов: цемента и высококальциевой золы до и после гидратации. Установлено, что цементный и зольный камень имеют коэффициенты эманулирования на порядок больше, чем исходные цемент и зола. С учетом вышеизложенного расчетная эманулирующая способность бетонного образца составила 3,15 Бк/кг, что на 16 % меньше экспериментально определенного значения.

Выводы. Удельную эффективную активность многокомпонентных материалов, не подвергающихся термической обработке, можно рассчитать, учитывая массовые расходы компонентов, входящих в состав бетона.

Прогнозирование эманирования готового бетона на основе показателей эманлирующей способности его отдельных компонентов (песок, щебень, цемент) без учета гидравлической активности цемента не представляется возможным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. К р и с ю к Э.М. Радиационный фон помещений. М.: Атомиздат, 1989. 120 с.
2. Н а з и р о в Р.А. Развитие научных основ и методов получения строительных материалов с заданными радиационно-экологическими свойствами: дис. ... д-ра техн. наук. Красноярск, 2003. 500 с.
3. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах: Публ. 65 МКРЗ / Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1995. 68 с.
4. Г у л а б я н ц Л.А., Л и в ш и ц М.И., М е д в е д е в С.В. Определение радоновой нагрузки на подземные ограждающие конструкции здания // АСADEMIA. Архитектура и строительство. 2016. № 1. С. 122–128.
5. К у р г у з С.А. Радонозащитные свойства лакокрасочных и рулонных материалов для покрытий бетонных конструкций: Дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2003. 36 с.
6. П а в л о в И.В., П о к р о в с к и й С.С., К а м н е в Е.Н. Способы обеспечения радиационной безопасности при разведке и добыче урановых руд. М.: Энергоатомиздат, 1994. 256 с.
7. Ш а ш к и н В.Л., П р у т к и н а М.И. Эманирование радиоактивных руд и минералов. М.: Атомиздат, 1979.
8. Ш у м к о в а Н.Н. Выделение радона из отдельностей рудного массива и кусков отбитой руды // Технический прогресс в атомной промышленности. М.: ЦНИИатоминформ, 1992. № 3. (Горно-металлургическое производство).

Назирова Рашит Анварович, д-р техн. наук, проф.

Сибирский федеральный университет (СФУ), г. Красноярск

Зайцева Наталья Александровна, студ.

Сибирский федеральный университет (СФУ), г. Красноярск

Веде Петр Юрьевич, студ.; E-mail: vede@live.ru

Сибирский федеральный университет (СФУ), г. Красноярск

Получено после доработки 26.03.18

Nazirov Rashit Anvarovich, DSc, Professor

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Zaitseva Natalia Alexandrovna, Student

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Vede Petr Yurevich, Student; E-mail: vede@live.ru

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

PREDICTING SPECIFIC EFFECTIVE ACTIVITY OF NATURAL RADIOACTIVITY AND EMANING CAPACITY OF MULTICOMPONENT CONSTRUCTION MATERIALS

The paper presents the results of the study of a multicomponent building material heavy concrete for determining the specific effective activity of natural radionuclides and radon

emanation into the air. An analysis of the results is made, and a formula is proposed for calculating and predicting the natural radioactivity of a multicomponent material (for example, heavy concrete) on the basis of data on the natural radioactivity and weight composition of its components: cement, fine and coarse aggregate. The fundamental feasibility of obtaining reliable calculated values of the specific effective activity of multicomponent building materials based on cement is established. It is shown that the prediction of the emanation of multicomponent cement compositions by the additive law is not possible without taking into account the change in the increase in the emanation due to the hydration of the cement.

Key words: radiation safety, natural radioactivity, building materials, concrete, specific effective activity, emanation.

REFERENCES

1. K r i s y u k E.M. Radiatsionnyy fon pomeshcheniy [Radiation background in buildings]. Moscow, 1989. 120 p. (in Russian)
2. N a z i r o v R.A. Razvitie nauchnykh osnov i metodov polucheniya stroitel'nykh materialov s zadannymi radiatsionno-ekologicheskimi svoystvami: Dis. ... d-ra tekhn. nauk [Development of scientific foundations and methods for obtaining building materials with given radiation-ecological properties: Doctor's thesis]. Krasnoyarsk, 2003. 500 p. (in Russian)
3. M K R Z, 1994. Zashchita ot radona-222 v zhilykh zdaniyakh i na rabochikh mestakh. Publikatsiya 65 [ICRP, 1994. Protection against Radon-222 at Home and at Work]. Moscow, 1995. 68 p. (in Russian)
4. G u l a b y a n t s L.A., L i v s h i t s M.I., M e d v e d e v S.V. Opredelenie radonovoy nagruzki na podzemnye ograzhdayushchie konstruksii zdaniya [The Measurement of Radon Impacts on Underground Building Envelope]. ACADEMIA. Arkhitektura i stroitel'stvo [Academia. Architecture and construction]. 2016. No. 1. Pp. 122–128. (in Russian)
5. K u r g u z S.A. Radonozashchitnye svoystva lakokrasochnykh i rulonnykh materialov dlya pokrytiy betonnykh konstruksiy: dis. ... kand. tekhn. nauk [Radon-protective properties of paint and coating materials for coatings of concrete structures: candidate's thesis]. Krasnoyarsk, 2003. 36 p. (in Russian)
6. P a v l o v I.V., P o k r o v s k i y S.S., K a m n e v Ye.N. Sposoby obespecheniya radiatsionnoy bezopasnosti pri razvedke i dobyche uranovykh rud [Methods to ensure radiation safety in uranium ore exploration and mining]. Moscow, Energoatomizdat, 1994. 256 p. (in Russian)
7. S h a s h k i n V.L., P r u t k i n a M.I. Emanirovanie radioaktivnykh rud i mineralov [On the mechanism of the emanation of radioactive ores and minerals]. Moscow, Atomizdat, 1979. (in Russian)
8. S h u m k o v a N.N. Vydelenie radona iz otdel'nostey rudnogo massiva i kuskov otbitoy rudy [Isolation of radon from the ore deposit and some ore lumps of the fall]. Tekhnicheskii progress v atomnoy promyshlennosti. Gorno-metallurgicheskoe proizvodstvo [Technical progress in the nuclear industry. Ser. Mining and metallurgical production]. Moscow, 1992. No. 3. (in Russian)

УДК 691.42:666.31

Б.К. КАРА-САЛ, Ш.В. СЕРЕН, Д.Х. САТ

КЛИНКЕРНЫЙ КИРПИЧ НА ОСНОВЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Показано, что при соответствующей переработке, подборе состава масс и выборе технологических параметров возможно получение плотноспеченного керамического камня на основе нетрадиционных материалов – полевошпатоцеолитсодержащей породы и отходов камнедробления. На основе полевошпатоцеолитсодержащей массы с добавкой 20 % отходов камнедробления после обжига при 1100 °С получен клинкерный кирпич с водопоглощением 3,7 % и механической прочностью 69,5 МПа. В фазовом составе плотного керамического материала присутствует до 60 % стеклообразной фазы, которая заполняет межзерновые пустоты и прочно соединяет твердые тугоплавкие компоненты массы, расплавляя их поверхности. Формирование плотной структуры черепка связано с особенностями химико-минералогических составов сырьевых материалов.

Ключевые слова: нетрадиционные материалы, полевошпатоцеолитовая порода, отходы камнедробления, измельчение, свойства, клинкер.

При производстве керамических облицовочных и отделочных плотноспеченных изделий применяют высококачественные тугоплавкие и легкоплавкие глины, а также различные добавки для регулирования технологических свойств массы сырца и эксплуатационных характеристик обожженных изделий [1, 2]. Из-за истощения запасов высококачественных глин и повышения тарифов на перевозку добавочных материалов из других регионов, низкого качества и засоренности местных повсеместно распространенных глинистых пород актуальна проблема обеспечения отрасли качественным сырьем, решение которой связано с поиском и исследованием природных и техногенных нетрадиционных сырьевых материалов [3].

Целью данной работы является получение клинкерного кирпича на основе нетрадиционных материалов с разработкой состава масс, определением оптимальной температуры обжига и изучением эксплуатационных характеристик полученных изделий.

Как известно, для ускорения спекания керамических масс вводят флюсующие материалы – природные щелочные и щелочноземельные алюмосиликаты (пегматиты, сиениты, датолиты) и стеклбой. Для повышения степени спекания массы содержание тугоплавких составляющих постепенно уменьшается и доля плавней достигает 60 %. Следует отметить, что применимость природных плавней определяется характеристиками плавкости их составляющих, от которых зависит флюсующая способность материала при определенной температуре и продолжительности обжига.

В работе в качестве сырьевых материалов приняты местные полевошпатоцеолитовая порода (ПЦП) и отходы камнедробления (ОК). Полевошпатоцеолитовая порода служит сырьем для изготовления заполнителей для

дорожной засыпки и асфальтобетона [4], а отходы камнедробления являются попутными продуктами при производстве щебня местного железобетонного завода. Оба сырьевых материала ранее не применялись как компоненты керамической массы и считаются нетрадиционными видами сырья.

Целесообразность использования полевошпатоцеолитовой породы связана с особенностями химико-минералогических составов и структуры цеолитов, присутствующих в минеральном составе исходного сырья. Цеолитовые минералы отличаются ионообменными, сорбционными и каталитическими способностями, что позволяет предположить многофункциональное их действие на керамические шихты. Кроме того, наличие полевых шпатов снижает чувствительность массы к сушке и способствует спеканию массы при обжиге.

Местная полевошпатоцеолитовая порода имеет серо-коричневый цвет и мелкозернистую структуру. Средняя насыпная масса песчаной фракции (до 3 мм) составляет 1540 кг/м³. Отходы камнедробления в виде отсева с размерами частиц менее 3 мм отличаются серо-темной окраской, плотной структурой и имеют среднюю насыпную массу 1760 кг/м³.

Анализ химического состава полевошпатоцеолитовой породы, приведенного в табл. 1, показывает, что наряду с высоким содержанием железистых соединений, щелочноземельных элементов (CaO и MgO более 6 %) в значительном количестве присутствуют щелочные оксиды (K₂O и Na₂O), что очень важно для спекания керамической массы. В отходах камнедробления доля железистых соединений до 6 %, а содержание оксида кремния достаточно высокое, что позволяет кварцевым частицам создавать основной каркас черепка с наименьшей усадкой при обжиге.

Таблица 1. Химический состав сырьевых материалов, мас. %

Материал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	П.п.п.
ПЦП	60,43	11,64	0,40	6,62	4,15	2,62	2,49	2,59	10,47
ОК	73,41	13,90	0,22	5,87	0,37	1,07	1,12	2,16	0,88

Минеральный состав полевошпатоцеолитовой породы по данным рентгенофазового анализа представлен кварцем (22–26 %), альбитом (38–42 %), клиноптилолитом (18–22 %) (распространенный цеолитовый минерал), гидроксидом железа (7–8 %), монтмориллонитом (7–9 %) и вулканическим стеклом (4–6 %). Микроскопическим исследованием выявлено прочное воссоединение клиноптилолитовых частиц с вулканическим составляющим породы.

В фазовом составе отходов камнедробления присутствуют кварц, полевой шпат в форме ортоклаза, гематит и оливин. Отходы камнедробления характеризуются как термически инертный материал до 1000 °С, так как на кривой термического анализа отсутствуют пики эндо- и экзотермических реакций.

При выполнении работы полевошпатоцеолитовая порода и отходы камнедробления в виде отсева максимальным размером частиц до 3 мм измельчались в шаровой мельнице сухим способом до остатка на сите 0,063 не более 3 %. Из пластической массы формовались опытные образцы-кирпичи-

чки размерами 60×30×15 мм и образцы-цилиндрики диаметром и высотой 35 мм, которые сначала сушились на воздухе, затем в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С. Обжиг проводился в лабораторной электропечи в интервале 1000–1100 °С с изотермической выдержкой 1 ч. Содержание отходов камнедробления в составе масс колебалось от 10 до 30 %.

Определение технологических свойств массы и физико-механических характеристик обожженных изделий выполнялось согласно ГОСТ 21216–2014.

Исследованием установлено, что в результате измельчения в шаровой мельнице происходит не только диспергирование и увеличение удельной поверхности частиц цеолитсодержащей породы (ЦСП), но также наблюдается изменение состояния компонентов. После механоактивации ЦСП содержание аморфной составляющей повысилось с 6 до 18 %, что связано с разрушением и аморфизацией части цеолитовых, глинистых и кварцевых частиц. Вследствие частичной аморфизации указанных природных минералов при увлажнении измельченная масса ЦСП приобретает пластичность. Исследования показали, что измельченный в течение 6 ч порошок ПЦП имеет число пластичности 10 и данное сырье относится к умереннопластичным. Это позволяет формовать изделия пластическим способом без разрыва граней и трещин при содержании отощающей добавки – отходов камнедробления до 20 %.

Изучение сушильных свойств масс на основе ЦСП и ОК показало, что пространственно-каркасная структура цеолитовых минералов уменьшает чувствительность сырца к сушке, и это положительно сказывается на трещиностойкости изделий. Пониженная чувствительность керамических масс на основе ЦСП обусловлена переводом частиц свободной воды в связанное состояние путем переноса в каркасное пространство клиноптилолита [5].

В результате сушки и перехода коагуляционной структуры массы в конденсационную за счет обезвоживания цеолитовых и глинистых частиц, а также их прочного сцепления с твердыми непластичными компонентами шихты, предел прочности сырца при сжатии колеблется в пределах 1,9–2,4 МПа (содержание отходов и камнедробления 10–20 %), что сравнимо с прочностью сырца на основе умереннопластичных глин.

Спекание керамической массы на основе ЦСП и ОК при обжиге исследовали dilatометрическим способом и изучением физико-механических характеристик, а также фазового состава полученных изделий.

Исследование термических процессов, протекающих при нагревании образцов, показало, что начиная с 250 °С наблюдается их удлинение и объемное расширение с максимальной величиной при 750 °С. Это связано с разрыхлением и увеличением объема при разложении органических веществ, дегидратацией гидроксидов железа, цеолитовых и глинистых минералов, модификационным превращением кварцевых частиц и изменением объема элементарной ячейки клиноптилолита при переходе в морденит [6].

Изменение характера dilatометрической кривой образца на основе чистой ПЦП в обратную сторону после 800 °С свидетельствует о начале спекания массы с образованием жидкого расплава в связи с аморфизацией и разложением цеолитовых и глинистых минералов (рис. 1). Из-за интенсивного образования и накопления жидкой фазы усадка образца при 1100 °С

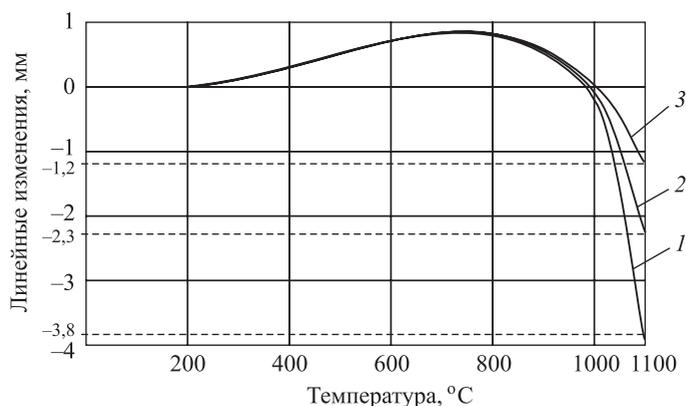


Рис. 1. Изменение линейных размеров образцов при обжиге
 1 – чистая полевошпатоцеолитовая порода; 2 – 90 % ПЦП + 10 % ОК;
 3 – 80 % ПЦП + 20 % ОК

достигает 3,8 мм (первоначальная длина 50 мм). При добавке 10 и 20 % величина усадки уменьшается до 2,3 и 1,2 мм соответственно.

Значительную усадку и повышение доли жидкого расплава в фазовом составе образцов из чистой полевошпатоцеолитовой породы при обжиге 1100 °С следует связать с химическим составом сырья, где щелочные элементы, железо и кальций обуславливают при относительно невысоких температурах образование низкотемпературных эвтектик в системах $K_2O - CaO - SiO_2$; $Fe_2O_3 - CaO - SiO_2$ [7].

Анализ физико-механических свойств обожженных образцов, приведенных в табл. 2, показывает, что формирование структуры керамического материала на основе чистой ПЦП зависит от температуры обжига. Образцы из чистой ПЦП после обжига при 1050 и 1100 °С имеют водопоглощение

Таблица 2. Свойства образцов после обжига

Состав №	Состав	Температура обжига, °С	Средняя плотность, г/см ²	Огневая усадка, %	Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии, МПа
1	ЦСП	900	1,75	1,8	17,4	24,6
		1000	1,78	4,2	12,3	32,2
		1050	1,83	8,6	8,0	49,3
		1100	1,99	24,4	0,6	88,4
2	90 % ЦСП + 10 % ОК	900	1,77	1,2	18,7	22,6
		1000	1,81	2,6	14,4	29,7
		1050	1,86	5,8	9,8	44,5
		1100	2,02	11,2	2,5	79,3
3	80 % ЦСП + 20 % ОК	900	1,79	0,9	19,8	20,3
		1000	1,82	1,9	16,4	27,8
		1050	1,88	3,1	11,0	40,1
		1100	2,04	7,9	3,7	69,5
4	70 % ЦСП + 30 % ОК	900	1,78	0,6	20,7	18,1
		1000	1,83	1,3	17,4	24,2
		1050	1,89	2,8	12,3	35,5
		1100	2,03	5,1	6,8	57,2

8,0 и 0,6 % соответственно, что свидетельствует об интенсивном спекании керамической массы в пределах указанных температур со значительным образованием и накоплением жидкого расплава, который способствует формированию плотного черепка прочностью 88,4 МПа. Кроме того, резкое уменьшение водопоглощения и повышение прочности материала в области 1050 и 1100 °С говорят об узком интервале спекания массы на основе ЦСП [8].

Для регулирования интервала спекания и огневой усадки образцов в состав шихты вводили 10, 20 и 30 % тонкоизмельченных отходов камнедробления. Установлено, что при добавке 10 и 20 % отходов, огневая усадка образцов после обжига при 1100 °С снизилась с 24,4 до 11,2 и 7,9 % соответственно, что подтверждается и dilatометрическим исследованием (кривые 2 и 3, рис. 1). Увеличение доли добавки до 30 % (состав 4) вызывает повышение водопоглощения изделий свыше 6,0 % после обжига при 1100 °С, что не удовлетворяет требованиям ГОСТ 530–2012. Высокая прочность и низкое водопоглощение изделий на основе составов 2 и 3 связаны с тем, что при температуре 1100 °С в результате аморфизации и разложения цеолитовых и глинистых минералов образуется в значительном количестве жидкий расплав, который заполняет межзерновые пустоты и склеивает твердые тугоплавкие зерна черепка [9].

Изучение рентгенофазовым методом состава образцов плотного керамического материала, обожженных при 1100 °С, показало, что кристаллические составляющие наряду с кварцем, альбитом и гелиатитом представлены следующими вновь образующимися фазами – анортитом (d/n 0,417; 0,321; 0,294; 0,271 нм) и кристобалитом (d/n 0,404; 0,247; 0,202 нм).

По данным электронно-микроскопического исследования в структуре керамического материала, содержащего 20 % ОК и обожженного при 1000 °С, частицы расплавлены не полностью и недостаточно связаны между собой, существуют сквозные поры и пустоты (рис. 2, а), а в структуре образцов, обожженных при 1100 °С, присутствует до 60 % стеклофазы, в которой поверхностно расплавились твердые тугоплавкие частицы. Из-за поверхностного расплавления и соединения со стеклофазой трудно различить зерна кварца, альбита и кристобалита (рис. 2, в). Выявлено, что керамический материал на основе ЦСП и 20 % ОК после обжига при 1100 °С имеет равномерную зернистую структуру, состоящую из мелких зерен (размер менее 5 мкм) и вкрапленников размером 10–120 мкм, цементированных стеклофазой.

Основной компонент плотноспеченного материала – стеклофаза, обеспечивающая прочность и химическую стойкость изделий, имеет химический состав (определен методом электронной микроскопии), изменяющийся в широких пределах, %: SiO₂ 54,62–61,39; Fe₂O₃ 5,92–7,23; CaO 0,89–3,71; MgO 0,98–2,73; K₂O 2,84–4,17; Na₂O 1,24–3,10. При этом стеклофаза содержит ионы двухвалентного железа и магния, что обеспечивает высокую реакционную способность [10].

В результате выполненной работы на основе полевошпатоцеолитовой породы и 20 % отходов камнедробления после обжига при 1100 °С образуется керамическое изделие с водопоглощением 3,7 % и прочностью при сжатии 69,5 МПа, что позволяет получить керамический материал плотной

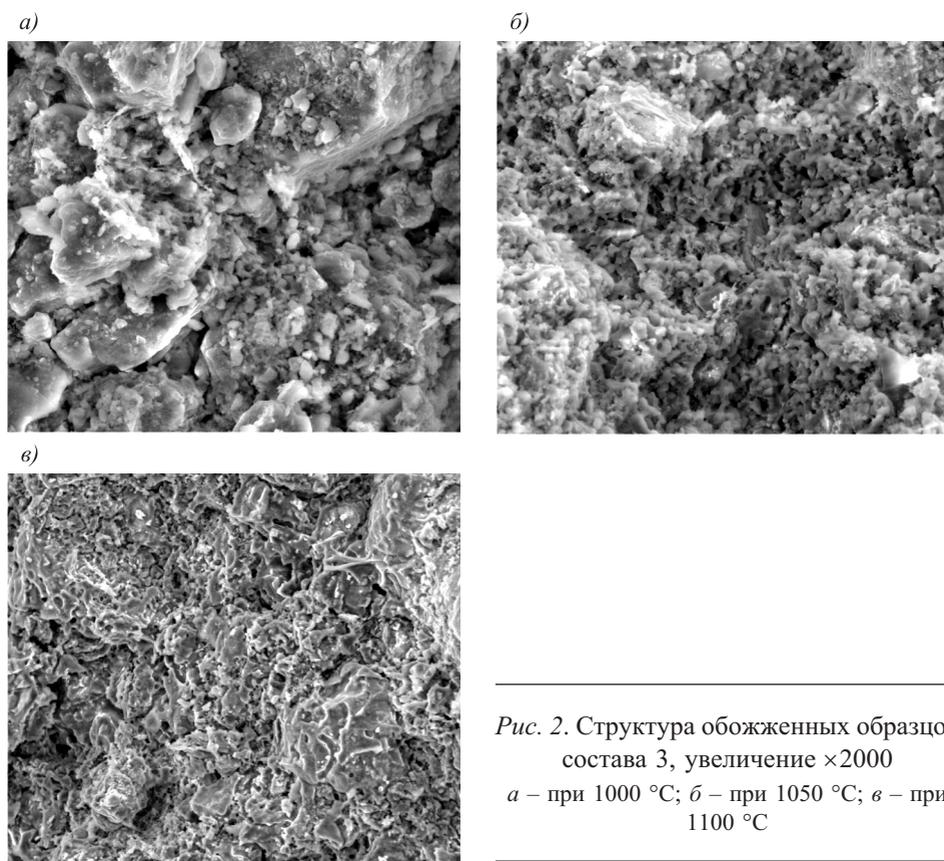


Рис. 2. Структура обожженных образцов состава 3, увеличение $\times 2000$
а – при 1000 °С; б – при 1050 °С; в – при 1100 °С

структуры, пригодный для использования в качестве клинкерного и облицовочного кирпича.

Опытно-промышленные испытания, проведенные на базе производственного цеха ООО «Стройгруппа», установили, что полнотелые кирпичи на основе шихты, содержащей 85 % ПЦП и 15 % ОК, после обжига при температуре 1100 °С в электрической опытной печи (объем 2,5 м³) имели водопоглощение 2,8–3,7 %, прочность при сжатии 61,7–64,5 МПа.

Таким образом, исследования показали возможность получения на основе традиционных сырьевых материалов – полевошпатоцеолитовой породы и отходов камнедробления – изделий стеновой керамики плотного черепка, в том числе клинкерного кирпича, что позволит производить конкурентоспособную продукцию и расширить сырьевую базу отрасли с вовлечением ранее неиспользованного минерального сырья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петелин А.Д., Сапрыкин В.И., Клевакин В.А., Клевакина Е.В. Универсальные глины Ниже-Увельского месторождения для производства керамических строительных материалов // Строит. материалы. 2017. № 4. С. 11–13.
2. Резник В.И. Возможности получения кирпича облицовочного и клинкерного светлых тонов на базе глин ПГ «Кислотоупор» // Строит. материалы. 2011. № 4. С. 54–56.

3. Наумов А.А. Лицевой и клинкерный кирпич из кремнистого сырья Шевченковского месторождения // Строит. материалы. 2017. № 4. С. 14–16.
4. Кара-сал Б.К., Серен Ш.В., Монгуш Д.С. Полевошпатоцеолитовая порода как сырье для изготовления керамических стеновых материалов // Изв. вузов. Строительство. 2015. № 2. С. 37–43.
5. Вакалова Т.В., Погребенков В.М., Ревва И.Б. Технологические способы регулирования поведения керамических масс к сушке // Строит. материалы. 2005. № 2. С. 56–58.
6. Ашмарин А.Г., Наумкина Н.И., Губайдулина А.М. Керамические стеновые материалы на основе цеолитсодержащего глинистого сырья // Строит. материалы. 2010. № 4. С. 44–46.
7. Зубехин А.П., Верченко А.В. Получение керамического гранита на основе цеолитсодержащих шихт // Строит. материалы. 2014. № 4. С. 52–54.
8. Кара-сал Б.К., Серен Ш.В., Монгуш Д.С. Получение плотноспеченных керамических изделий с применением полевошпатоцеолитового сырья Тувы // Стекло и керамика. 2015. № 9. С. 28–31.
9. Овчаренко Г.И., Свиридов В.Л., Казанцева Л.К. Цеолиты в строительных материалах. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. 320 с.
10. Абдрахимова Е.С., Долгий В.П., Абдрахимов В.З. Влияние железосодержащего металлургического шлака на фазовые превращения при обжиге керамических материалов // Материаловедение. 2006. № 1. С. 29–33.

Кара-сал Борис Комбуй-оолович, д-р техн. наук, доц.; E-mail: silicat-tgu@mail.ru
Тувинский государственный университет, г. Кызыл
Серен Шораан Владимирович, ст. препод.
Тувинский государственный университет, г. Кызыл
Сат Дмитрий Хураган-оолович, ст. препод.
Тувинский государственный университет, г. Кызыл

Получено 05.03.18

Kara-sal Boris Kombuy-oolovich, DSc, Ass. Professor; E-mail: silicat-tgu@mail.ru
Tuva State University, Kyzyl, Russia
Seren Shoraan Vladimirovich, Senior Lecturer
Tuva State University, Kyzyl, Russia
Sat Dmitriy Khuragan-oolovich, Senior Lecturer
Tuva State University, Kyzyl, Russia

CLINKER BRICKS BASED ON NON-TRADITIONAL MATERIALS

It is shown that with appropriate processing, selection of the composition of masses and the choice of technological parameters, it is possible to produce a densely-baked ceramic stone on the basis of non-traditional materials – feldspar-zeolite-containing kind of rock and wastes of stone-crushing. It was revealed that clinker bricks with water absorption of 3,7 % and mechanical strength of 69,5 MPa were obtained from feldspar-zeolite-containing mass with the addition of 20 % of the waste of stone-crushing after roasting at 1100 °C. In the phase composition of a dense ceramic material, up to 60 % glassy phase is present, which fills intergranular voids and firmly connects the solid refractory components of the mass by melting their surfaces. The formation of a dense structure of the shard is associated with the peculiarities of the chemical-mineralogical compositions of raw materials.

Key words: non-traditional materials, feldspar-zeolite-containing rock, wastes stone-crushing, grinding, properties, clinker.

REFERENCES

1. Petelin A.D., Saprykin V.I., Klevakin V.A., Klevakina E.V. Universal'nye gliny Nizhe-Uvel'skogo mestorozhdeniya dlya proizvodstva keramicheskikh stroitel'nykh materialov [Universal clays of the Nizhe-Uvelsk deposit for the production of ceramic building materials]. *Stroitel'nye materialy* [Building Materials]. 2017. No. 4. Pp. 11–13. (in Russian)
2. Reznik V.I. Vozmozhnosti polucheniya kirpicha oblitsovochnogo i klinkernogo svetlykh tonov na baze glin PG «Kislotoupor» [The possibilities of obtaining facing brick and light tones clinker on the basis of PG «Kislotoupor» clay]. *Stroitel'nye materialy* [Building Materials]. 2011. No. 4. Pp. 54–56. (in Russian)
3. Naumov A.A. Litsevoi i klinkernyy kirpich iz kremnistogo syr'ya Shevchenkovskogo mestorozhdeniya [Face and clinker bricks from siliceous raw materials of Shevchenkovsky deposits]. *Stroitel'nye materialy* [Building Materials]. 2017. No. 4. Pp. 14–16. (in Russian)
4. Kara-sal B.K., Seren Sh.V., Mongush D.S. Polevoshpatotseolitovaya poroda kak syr'e dlya izgotovleniya keramicheskikh stenovykh materialov [The feldspar-zeolite rock as raw materials for manufacturing ceramic wall materials]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2015. No. 2. Pp. 37–43. (in Russian)
5. Vakalova T.V., Pogrebenkov V.M., Revva I.B. Tekhnologicheskie sposoby regulirovaniya povedeniya keramicheskikh mass k sushke [Technological methods of regulation of behavior of ceramic masses for drying]. *Stroitel'nye materialy* [Building Materials]. 2005. No. 2. Pp. 56–58. (in Russian)
6. Ashmarin A.G., Naumkina N.I., Gubaydulina A.M. Keramicheskie stenovye materialy na osnove tseolitsoderzhashchego glinistogo syr'ya [Ceramic walling materials based on zeolite-containing clay raw materials]. *Stroitel'nye materialy* [Building Materials]. 2010. No. 4. Pp. 44–46. (in Russian)
7. Zubekhin A.P., Verchenko A.V. Poluchenie keramicheskogo granita na osnove tseolitsoderzhashchikh shikht [Obtaining of ceramic granite on the basis of zeolite-containing charges]. *Stroitel'nye materialy* [Building Materials]. 2014. No. 4. Pp. 52–54. (in Russian)
8. Kara-sal B.K., Seren Sh.V., Mongush D.S. Poluchenie plotnospechennykh keramicheskikh izdeliy s primeneniem polevoshpatotseolitovogo syr'ya Tuvy [Obtaining densely-baked ceramic products using feldspar-zeolite raw materials of Tuva]. *Steklo i keramika* [Glass and ceramics]. 2015. No. 9. Pp. 28–31. (in Russian)
9. Ovcharenko G.I., Sviridov V.L., Kazantseva L.K. Tseolity v stroitel'nykh materialakh [Zeolites in construction materials]. Barnaul, 2000. 320 p. (in Russian)
10. Abdrakhimova E.S., Dolgiy V.P., Abdrakhimov V.Z. Vliyaniye zhelezosoderzhashchego metallurgicheskogo shlaka na fazovye prevrashcheniya pri obzhige keramicheskikh materialov [Influence of iron-containing metallurgical slag on phase transformations during roasting of ceramic materials]. *Materialovedenie* [Materials Science]. 2006. No. 1. Pp. 29–33. (in Russian)

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА



УДК 697:621.001.24

В.И. КОСТИН, Е.А. РАКОВА

КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ СИСТЕМ КЛИМАТИЗАЦИИ ТЕРМОКОНСТАНТНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Эффективные и экономичные системы климатизации термоконтантных помещений могут быть созданы лишь на основе принципов системного анализа, учитывая особенности конкретного объекта (архитектурно-строительные и технологические решения, климатические условия и т.д.). В статье сформулированы и обоснованы дополнительные требования, предъявляемые к этим системам, вызванные необходимостью поддержания в помещении постоянной температуры. Предложено пять конструктивных схем климатизации и приведены примеры их применения для различных вариантов архитектурно-планировочных компоновок. Показано, что расчетные затраты холода (максимальные и суммарные) на охлаждение помещения и приточного воздуха могут быть определены только на основе анализа суточной динамики этих затрат.

Ключевые слова: термоконтантные помещения, системы климатизации, конструктивные схемы.

Постановка задачи. Создание эффективных и экономичных систем климатизации термоконтантных помещений возможно лишь на базе принципов системного анализа [1, 2], учитывая особенности архитектурно-планировочных, строительно-конструкторских и технологических решений конкретного объекта, климатических, экономических и других факторов. В многочисленных публикациях советского периода, посвященных термоконтантным помещениям, например [3, 4], рассматривались, в основном, процессы обработки воздуха. Большая часть исследований по совершенствованию систем климатизации, проведенных в РФ за последнее двадцатилетие, касались жилых и общественных зданий. В то же время часть полученных результатов может быть использована и для промышленных зданий. В частности, применительно к рассматриваемой нами задаче, важное значение имеет вывод, полученный Ю.А. Табунщиковым [1], о том, что расход холода на систему кондиционирования зависит от коэффициента теплопоглощения B_i внутренней поверхности ограждающих конструкций. Следо-

вательно, два одинаковых здания с одинаковыми сопротивлениями теплопередаче, но выполненные из материалов с различными B_i первого слоя, будут иметь неодинаковые энергозатраты на охлаждение.

Ряд вопросов, связанных с особенностями систем климатизации термokonстантных помещений, рассмотрен в работах [5–7]. В качестве расчетной была принята математическая модель Ю.А. Табунщикова [1, 8]. Вычисления производились по программе РНП «АВОК» 5.1–2008 «Расчет нагрузки на систему кондиционирования воздуха при нестационарных теплопоступлениях».

В результате была определена суточная динамика расходов холода на систему кондиционирования при различных климатологических сочетаниях для теплого периода и переходных условий. Установлено, что эффективная и экономичная система охлаждения может быть создана на основе посуточных и помесyчных расчетов, как это предложено в работе [9]. Но, в отличие от жилых и общественных зданий, для термokonстантных помещений временной интервал между периодами отопления и искусственного охлаждения отсутствует. И переход от режима отопления к режиму охлаждения и наоборот может происходить в рабочее время даже при односменной работе.

Целью данной работы является исследование конструктивных схем климатизации термokonстантных помещений.

Анализ результатов расчетов. Расчеты производились для одноэтажного здания высотой 5 м и размерами в плане 36×60 м¹. Фасады ориентированы на север и юг, торцевые стены – на запад и восток. Стены кирпичные, толщиной 0,38 м, утеплитель URSA, отделка снаружи и внутри плиткой. На северной и южной сторонах имелись окна. Степень остекления стен 0,24. Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций принималось в соответствии с СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02–2003. Тепловая защита зданий», климатологические данные – по СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01–99* . Строительная климатология». Удельные теплопоступления от оборудования 3 Вт/м³. Кратность воздухообмена в помещении 4. Температура внутреннего воздуха t_v 20 °С.

Результаты расчета динамики суточных теплопоступлений в помещение представлены в табл. 1, где t – температура наружного воздуха, τ – время суток, Q – теплопоступления в помещение. Индекс «1» относится к периоду максимальных теплопоступлений ($Q_1 = Q_{\max}$), «2» – минимальных теплопоступлений ($Q_2 = Q_{\min}$), «3» – к времени минимальной температуры наружного воздуха, индекс «4» – к максимальной (15 ч). Из табл. 1 видно, что разница между максимальными теплопоступлениями Q_1 и теплопоступлениями в 15 ч (Q_4) не превышает 15 %. Анализ динамики суммарных затрат холода на охлаждение приточного воздуха ($Q_{\text{охл.пр}}$) и теплопоступлений в помещение ($Q_{\text{охл.пом}}$) показал, что в данном случае они наибольшие в 15 ч. Возможно, в других сочетаниях объемно-планировочных решений, интенсивности и степени неравномерности технологических теплопоступлений, кратности воздухообмена, время максимальной величины расчетной холодопроизводительности системы климатизации $Q_{\text{сист}}$ сместится на более поздние часы.

¹ При вычислениях использовалась та же программа, что и в работах [5–7].

Таблица 1. Динамика суточных теплопоступлений в помещение

Город	$t_1, \text{ }^\circ\text{C}$	τ_1	$Q_1, \text{ кВт}$	$t_2, \text{ }^\circ\text{C}$	τ_2	$Q_2, \text{ кВт}$	$t_3, \text{ }^\circ\text{C}$	τ_3	$Q_3, \text{ кВт}$	$t_4, \text{ }^\circ\text{C}$	$Q_4, \text{ кВт}$
<i>Односменная работа</i>											
Новосибирск	19,22	22	31,972	19,22	8	28,658	15	3	30,88	26	30,219
Краснодар	22,8	22	36,565	22,8	8	33,081	17,9	3	35,377	31	34,701
Владивосток	21,2	21	28,957	20,4	8	25,771	18	3	27,755	25	27,572
Саратов	21,6	22	35,658	21,6	8	31,957	17,2	3	34,339	29	33,725
Оренбург	21,5	22	35,103	21,5	8	31,462	16,5	3	33,841	30	33,158
Москва	20,8	21	32,476	19,5	8	28,698	15,6	3	31,068	26	30,613
<i>Двухсменная работа</i>											
Новосибирск	16,67	0	43,246	24,73	12	38,419	15	3	42,056	26	38,85
Краснодар	19,8	0	47,792	29,2	12	42,844	17,9	3	46,547	31	43,329
Владивосток	19	0	40,119	22,9	11	35,747	18	3	38,924	25	36,205
Саратов	18,9	0	46,83	27,4	12	41,755	17,2	3	45,511	29	42,358
Оренбург	18,5	0	46,309	28	12	41,231	16,5	3	45,014	30	41,791
Москва	17,1	0	43,594	23,4	11	38,549	15,6	3	42,241	26	39,246
<i>Трёхсменная работа</i>											
Новосибирск	15,8	1	51,817	26,2	14	49,412	15	3	51,704	26	49,443
Краснодар	18,8	1	56,343	30,9	14	53,863	17,9	3	56,299	31	53,917
Владивосток	18,4	1	48,675	24,4	14	46,772	18	3	48,574	25	46,794
Саратов	18,9	0	55,361	28,3	13	52,844	17,2	3	55,16	29	52,947
Оренбург	17,4	1	54,849	29,8	14	52,297	16,5	3	54,664	30	52,382
Москва	17,1	0	52,125	25,3	13	49,688	15,6	3	51,89	26	49,836

И поэтому оно должно уточняться расчетом. В любом случае будет справедливо неравенство

$$Q_{\text{охл. пом}}^{\text{max}} + Q_{\text{охл. пр}}^{\text{max}} < Q_{\text{сист}}.$$

Результаты расчета холодопроизводительности системы климатизации представлены в табл. 2.

В следующей серии расчетов определялась продолжительность периода переходных условий. Выяснилось, что в некоторых случаях время неустойчивой работы, когда возможен переход от режима нагрева на режим охлаждения в течение рабочего времени, может доходить до нескольких месяцев. Отсюда возникает первое требование к системам климатизации – безынерционность, возможность быстрой смены режима работы.

Далее. Температура технологического оборудования и изделий зависит не только от температуры воздуха $t_{\text{в}}$, но и от лучистого теплообмена,

Таблица 2. Расчетные холодопроизводительности системы климатизации, кВт

Город	Односменная работа			Двухсменная работа			Трехсменная работа		
	$Q_{\text{охл.пр}}$	$Q_{\text{охл.вн}}$	$Q_{\text{сист}}$	$Q_{\text{охл.пр}}$	$Q_{\text{охл.вн}}$	$Q_{\text{сист}}$	$Q_{\text{охл.пр}}$	$Q_{\text{охл.вн}}$	$Q_{\text{сист}}$
Новосибирск	87,091	30,219	117,310	87,091	38,85	125,941	87,091	49,443	136,534
Краснодар	159,667	34,701	194,368	159,667	43,329	202,996	159,667	53,917	213,584
Владивосток	72,576	27,572	100,148	72,576	36,205	108,781	72,576	46,793	119,369
Саратов	130,637	33,725	164,362	130,637	42,358	172,995	130,637	52,947	183,584
Оренбург	145,152	33,158	178,310	145,152	41,791	186,943	145,152	52,382	197,534
Москва	87,091	30,613	117,704	87,091	39,246	126,337	87,091	49,836	136,927

происходящего внутри помещения. Отсюда возникает второе требование к системам климатизации. Они не должны создавать дополнительного лучистого теплообмена и в то же время защищать оборудование от такого теплообмена со светопрозрачными ограждающими конструкциями. Этим требованиям удовлетворяет лишь один вид систем климатизации – воздушный.

Наконец, при проектировании этих систем следует учитывать еще два обстоятельства:

1. В холодный период года возле окон создается ниспадающий низкотемпературный поток. Поэтому в СП 60.13330.2012 «СНиП 41-01–2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» (п. 6.4.4) записано следующее: «Отопительные приборы в производственных помещениях с постоянными рабочими местами, расположенными на расстоянии 2 м или менее от окон, в районе с расчетной температурой наружного воздуха в холодный период t_n минус $15\text{ }^\circ\text{C}$ и ниже (параметры Б) следует размещать под окнами». Однако температура и скорость ниспадающей струи зависит не только от плотности теплового потока через окно, т.е. от его конструкции и температуры наружного воздуха, но и от высоты окна [10]. Поэтому эта струя может создать зоны пониженных температур и повышенных скоростей и за пределами двухметровой зоны и при $t_n > -15\text{ }^\circ\text{C}$.

2. Принятая в отечественной практике методика расчета подачи приточного воздуха [11] исходит из равномерного распределения внутренних теплоступлений по площади помещения и не учитывает стесняющее воздействие оборудования на развитие струйных течений. На тех же предпосылках основаны и зарубежные рекомендации по подбору воздухораздающих устройств. Поэтому нельзя механически расставлять их равномерно по цеху. Следует избегать установки приточных насадков над высоким оборудованием и обеспечивать подачу воздуха во все проходы между ним, создавая эффективное перемешивание воздушных масс.

Анализ конструктивных схем климатизации. На рисунке представлен ряд принципиальных схем систем климатизации. При этом на приточных установках не показаны калориферы второго подогрева, так как сейчас имеются решения, позволяющие обходиться без них, например [12–14].

Схема 1

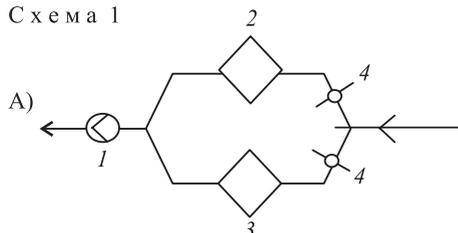
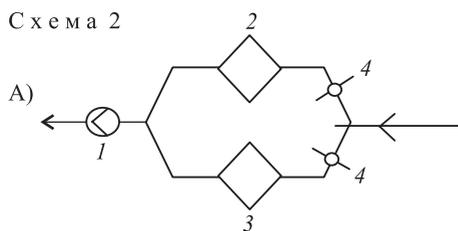


Схема 2



Б)

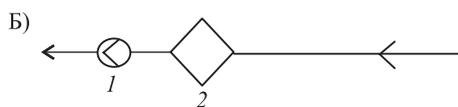
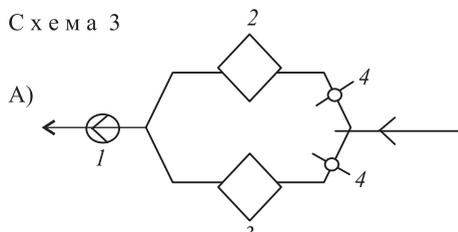


Схема 3



В)

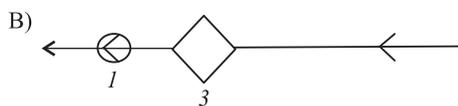


Схема 4

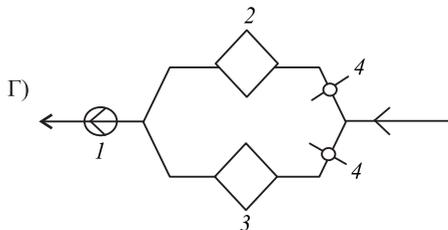
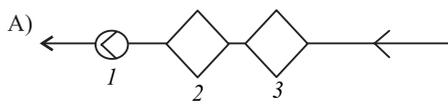
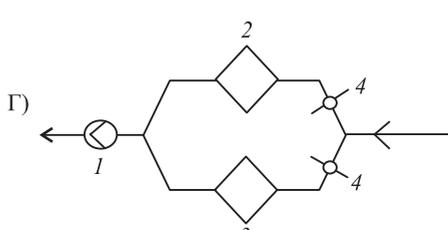
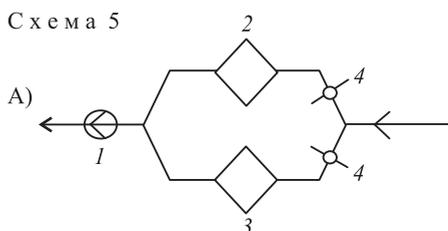


Схема 5



Принципиальные схемы климатизации термokonстантных помещений А–Г – установки (А – приточная; Б – нагревательная; В – охладительная; Г – нагревательно-охладительная)

1 – вентилятор; 2 – воздухонагреватель; 3 – воздухоохладитель; 4 – переключающие клапаны

Рассмотрим схемы.

С х е м а 1. Система нагрева – охлаждения совмещена с приточной вентиляцией. Этот вариант является наиболее простым и дешевым из представленных здесь. Недостатки – не решается проблема защиты технологического процесса от лучистого теплообмена с окнами и образующихся на их поверхности холодных потоков.

С х е м а 2. Приточная система в холодный период подает воздух с температурой $t_{пр} \geq t_{в}$, в теплый период – охлаждает помещение. Дополнительная установка подает теплый воздух на окна.

С х е м а 3. Приточная вентиляция совмещена с воздушным отоплением. Охлаждение осуществляется специальной установкой с подачей части или всего воздуха на окна. В теплый период температура приточного воздуха $t_{пр} = t_{в}$. Очевидно, что ни вторая, ни третья схемы не решают полностью задачу защиты технологического процесса от негативного воздей-

ствия окон. Тем не менее случаи применения трех первых схем в помещениях возможны.

С х е м а 4. Приточный воздух подается с температурой $t_{\text{пр}} = t_{\text{в}}$. Отопление и охлаждение осуществляются специальной установкой. Схема позволяет обеспечить защиту технологического процесса от негативного воздействия окон. Может применяться при отсутствии крупногабаритного оборудования, препятствующего требуемой циркуляции воздушных потоков.

С х е м а 5. Представляется целесообразной для помещений с крупногабаритным оборудованием. В этом случае имеются те же установки, что и в схеме 4. Но часть отопительно-охлаждающих функций выполняется приточной системой.

Для анализа влияния архитектурно-планировочных решений на выбор конструктивной схемы климатизации были рассмотрены следующие варианты изменения базовой планировки помещения, для которой делались приведенные ниже расчеты.

Вариант 1. Южная стена является внутренней.

Вариант 2. Внутренней принята северная стена.

Вариант 3. Помещения располагаются на первом этаже здания.

Вариант 4. Окна имеются во всех четырех стенах.

Оказалось, что при односменной работе время максимальных теплопоступлений в помещение τ_1 зависит от планировочного решения и изменяется в пределах от 17 (вариант 1) до 21 ч (вариант 4). Рассмотрим теперь, какие схемы предпочтительны для конкретных вариантов.

Вариант 1. На большей части территории РФ возможно применение схемы 2. В южных регионах может подойти схема 1 при условии проведения проверочного расчета ниспадающей струи в холодный период.

Варианты 2–4. В районах с теплым климатом вполне применима схема 3 при выполнении приведенных ниже условий. На остальной части РФ следует использовать схемы 4 или 5. Если же термokonстантное производство располагается в помещении, не имеющем наружных стен (или, по крайней мере, окон), то здесь наиболее рациональной будет схема 1.

Дежурное отопление (охлаждение). Приведенные нами расчеты производились из условия круглосуточного поддержания в помещении постоянной температуры. Между тем для экономии энергии в нерабочее время целесообразно поддерживать более низкую (в холодный период) и высокую (в теплый период) температуру $t_{\text{в}}$. Для доведения ее до требуемого значения к началу рабочего времени должны быть предусмотрены системы дополнительного нагрева (натопа) и охлаждения.

Принципы рационального натопа, сформулированные Ю.А. Табунщиковым [1], справедливы и для систем дополнительного охлаждения. Однако нужно иметь в виду следующее. Скорость изменения теплового состояния оборудования может отличаться от скорости изменения температуры воздуха $t_{\text{в}}$. В зависимости от размеров, массы, удельной теплоемкости оборудования, расположения его по отношению к системе натопа (охлаждения) она может быть и больше, и меньше темпов изменения $t_{\text{в}}$. Кроме того, неизвестна и рациональная степень отклонения температуры $t_{\text{в}}$ в нерабочее время от

расчетной. Скорее всего, эта величина может оказаться неодинаковой для разных регионов.

Заключение. Предложенные схемы климатизации не являются единственно возможными. Но любая схема должна удовлетворять следующим условиям:

1. Достаточнo быстро переходить с режима нагрева на режим охлаждения и наоборот.
2. Не создавать лучистого теплообмена.
3. Защищать технологическое оборудование от лучистого теплообмена с окнами и от возникающих около них в холодный период ниспадающих струй.
4. Учитывать наличие крупногабаритного оборудования, препятствующего циркуляции воздушных потоков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. 194 с.
2. Рымкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2003. 272 с.
3. Баркалов В.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. М.: Стройиздат, 1982. 312 с.
4. Ловцов В.В. Системы прецизионного кондиционирования воздуха. Л.: Стройиздат, 1971. 86 с.
5. Костин В.И., Русских Е.Ю. Расчет расходов холода на системы кондиционирования воздуха промышленных зданий // АВОК. 2012. № 5. С. 18–21.
6. Костин В.И. Выбор параметров наружного воздуха для переходных условий при расчете систем климатизации // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 2. С. 57–60.
7. Костин В.И., Кармишкина А.В. Особенности расчета холодопроизводительности систем климатизации термokonстантных помещений // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 6. С. 74–78.
8. Tabunshikov Yu.A. Mathematical models of thermal conditions in buildings. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 1993.
9. Табунщиков Ю.А., Миллер Ю.В. Оценка годового расхода энергии на отопление и охлаждение зданий // АВОК. 2013. № 3. С. 56–63.
10. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. М.: Высш. шк., 1970. 375 с.
11. Гримитлин М.И. Распределение воздуха в помещениях. СПб.: НПП «ЭКОЮРУС-ВЕНТО», 1994. 316 с.
12. Малявина Е.Г., Крючкова О.Ю. Экономическая оценка центральных систем кондиционирования воздуха с различными схемами обработки // Пром. и гражд. стр-во. 2014. № 7. С. 30–34.
13. Кокорин О.Я., Балмазов М.В. Энергосберегающие системы кондиционирования воздуха // СОК. 2012. № 11. С. 68–71.
14. Самарин О.Д. Аналитическая оценка возможности исключения вторичного подогрева притока в прямоточных системах кондиционирования воздуха // Изв. вузов. Строительство. 2018. № 1. С. 69–75.

Костин Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Ракова Елена Андреевна, студ.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 22.03.18

Kostin Vladimir Ivanovich, DSc, Professor; E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Rakova Elena Andreevna, Student

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

CONSTRUCTIVE SCHEMES OF CONTROL SYSTEMS OF A MICROCLIMATE OF PREMISES WITH THE CONSTANT TEMPERATURE OF INTERNAL AIR

The effective and economic systems of control systems of a microclimate of premises with the constant temperature of internal air can be created only on the basis of the principles of the system analysis, considering features of a concrete object (architectural construction and technology solutions, climatic conditions, etc.). In article the additional requirements imposed to these systems, caused by need of maintenance in constant temperature are formulated and proved. Five constructive schemes of control systems of a microclimate are offered and examples of their application for various options of architectural planning configurations are given. It is shown that settlement expenses of cold (maximum and total) on cooling of the room and stitched air can be defined only on the basis of the analysis of daily dynamics of these expenses.

Key words: premises with the constant temperature of internal air, control systems of a microclimate, constructive schemes.

REFERENCES

1. Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M. Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya teplovoy effektivnosti zdaniy [Mathematical modeling and optimization of thermal protection of buildings]. Moscow, 2002. 194 p. (in Russian)
2. Rymkevich A.A. Sistemnyy analiz optimizatsii obshcheobmennoy ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha [System analysis of optimization of all-exchange ventilation and air conditioning]. Saint-Petersburg, AVOK Northwest, 2003. 272 p. (in Russian)
3. Barkalov V.V., Karpis E.E. Konditsionirovanie vozdukha v promyshlennykh, obshchestvennykh i zhilykh zdaniyakh [The air conditioning in industrial, public and residential buildings]. Moscow, Stroyizdat, 1982. 312 p. (in Russian)
4. Lovtsov V.V. Sistemy pretsizionnogo konditsionirovaniya vozdukha [Systems of precision air-conditioning]. Leningrad, Stroyizdat, 1971. 86 p. (in Russian)
5. Kostin V.I., Russkikh E.Yu. Raschet raskhodov kholoda na sistemy konditsionirovaniya vozdukha promyshlennykh zdaniy [Calculation of expenses of cold on air conditioning systems of industrial buildings]. AVOK [HVAC]. 2012. No. 5. Pp. 18–21. (in Russian)
6. Kostin V.I. Vybór parametrov naruzhnogo vozdukha dlya perekhodnykh usloviy pri raschete sistem klimatizatsii [Selection of parameters of external air for transitional conditions at calculation of climatic systems]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2014. No. 2. Pp. 57–60. (in Russian)

7. Kostin V.I., Karmishkina A.V. Osobennosti rascheta kholodoproizvoditel'nosti sistem klimatizatsii termokonstantnykh pomeshcheniy [Features of calculation of cooling capacity of control systems of a microclimate of a premises with the constant temperature of internal air]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2014. No. 6. Pp. 74–78. (in Russian)
8. Tabunshikov Yu.A. Mathematical models of thermal conditions in buildings. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 1993.
9. Tabunshikov Yu.A., Miller Yu.V. Otsenka godovogo raskhoda energii na otoplenie i okhlazhdenie zdaniy [Assessment of annual power consumption on heating and cooling of buildings]. AVOK [HVAC]. 2013. No. 3. Pp. 56–63. (in Russian)
10. Bogoslovskiy V.N. Stroitel'naya teplofizika [Construction thermophysics]. Moscow, 1970. 375 p. (in Russian)
11. Grititlin M.I. Raspredelenie raskhoda vozdukha v pomeshcheniyakh [Distribution of air in the rooms]. Saint-Petersburg, 1994. 316 p. (in Russian)
12. Mal'yavina E.G., Kryuchkova O.Yu. Ekonomicheskaya otsenka tsentral'nykh sistem konditsionirovaniya vozdukha s razlichnymi skhemami ego obrabotki [Economic estimation of central air conditioning systems with different air treatment schemes]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. 2014. No. 7. Pp. 30–34. (in Russian)
13. Kokorin O.Ya., Balmazov M.V. Energoberegayushchie sistemy konditsionirovaniya vozdukha [Energy saving air conditioning systems]. SOK [SHC]. 2012. No. 11. Pp. 68–71. (in Russian)
14. Samarin O.D. Analiticheskaya otsenka vozmozhnosti isklyucheniya vtorichnogo podogreva pritoka v pryamotochnykh sistemakh konditsionirovaniya vozdukha [The analitic estimation of possibility of elimination of secondary heating of supply air in direct-flow air conditioning systems]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2018. No. 1. Pp. 69–75. (in Russian)

УДК 628.33

**Т.И. ХАЛТУРИНА, Ю.Л. СКОЛУБОВИЧ, Е.Л. ВОЙТОВ, Е.А. ВЕСНИНА,
Н.И. МАРКИН****ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ
ОБРАБОТКИ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД
РЕАГЕНТОМ POLYPACS-PFS**

Представлены результаты экспериментальных исследований процесса извлечения ионов Cr^{6+} из сточных вод гальванических производств при использовании реагента Polypacs-PFS, а также данные по изучению состава образующегося осадка. Цель исследования: определение оптимальных режимов обработки хромсодержащих сточных вод реагентом Polypacs-PFS и изучение структуры, свойств и состава осадка. Концентрацию ионов Cr^{6+} определяли на атомно-абсорбционном спектрометре 3300 производства фирмы Perkin-Elmer с пламенным атомизатором. Для анализа химического состава осадка был применен термогравиметрический метод на приборе NETZSCHSTA 449F1 в режиме: ДСК–ТГ, в атмосфере A_Z , в диапазоне 30/20,0 (К/мин)/1000, при использовании программного обеспечения NETZSCH Proteus. Для получения математической модели и выявления оптимальных режимов извлечения ионов шестивалентного хрома при реагентной обработке стоков был проведен плановый эксперимент по методу Бокса–Хантера. Были исследованы свойства и состав осадка, образующегося после обработки сточных вод реагентом Polypacs-PFS, для разработки технологии его утилизации. Выявлено, что наибольший эффект извлечения Cr^{6+} достигается при следующих условиях проведения процесса обработки сточных вод: $\text{pH} = 2,5$; доза реагента = 348 мг/дм^3 при концентрации $\text{Cr}^{6+} = 58 \text{ мг/дм}^3$, время протекания реакции – 10 мин с последующей корректировкой величины $\text{pH} = 8,5$. Анализ химического состава осадка показал содержание различных форм железа (типа Fe_2O_3 , $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, FeOOH).

Ключевые слова: извлечение, ионы Cr^{6+} , сточные воды, термогравиметрический анализ, термограмма, рентгенофазовый метод, уравнения регрессии, оптимизация.

В гальванических производствах предприятий машиностроения образуются стоки, содержащие шестивалентный хром, так как его соединения используются в качестве ингредиентов технологических растворов в процессе нанесения защитных или декоративных покрытий [1]. Ионы Cr^{6+} вод обладают широким спектром токсического действия с многообразными проявлениями и с долговременными последствиями, поэтому требования к их обезвреживанию высоки [2–4].

Целью эксперимента явилось изучение процесса реагентного обезвреживания хромсодержащих сточных вод [5]. Исследования проводились на моделях сточных вод, содержащих Cr^{6+} , с помощью планирования по методу Бокса–Хантера, что позволило получить коэффициенты регрессии с одинаковой оценкой дисперсии.

© Халтурина Т.И., Сколубович Ю.Л., Войтов Е.Л., Веснина Е.А., Маркин Н.И., 2018

В качестве факторов, от которых зависит процесс очистки от ионов Cr^{6+} , были приняты следующие:

X_1 – исходная концентрация ионов Cr^{6+} в стоках, мг/дм^3 ;

X_2 – доза реагента восстановителя, мг/дм^3 .

В качестве выходных учитываемых параметров приняты:

Y_1 – остаточная концентрация ионов Cr^{6+} , мг/дм^3 ;

Y_2 – объем осадка, %.

Параметры в уравнении варьирования приведены в таблице.

Факторы и уровни их варьирования, мг/л

Показатель	Величина	Интервал				
		-1,41	-1	0	1	1,41
Исходная концентрация X_1	30	22,7	35	65	95	107,3
Доза реагента X_2	85	205,15	240	325	410	444,85

Экспериментальные данные на первом этапе были обработаны по методу Бокса–Хантера [6].

Уравнение регрессии в безразмерном масштабе относительно остаточной концентрации

$$Y_1 = 0,211 + 7,026X_1 - 5,445X_2 - 3,919X_1X_2 + 5,523X_1^2 + 3,566X_2^2.$$

Уравнение регрессии в безразмерном масштабе относительно объема осадка

$$Y_2 = 11,75 + 1,993X_1 + 2,215X_2 + 0,032X_1X_2 + 4,198X_1^2 + 5,292X_2^2.$$

Из анализа уравнений регрессии установлено, что эффективность процесса извлечения в большей степени зависит от исходной концентрации ионов шестивалентного хрома и меньше – от дозы реагента. На объем осадка наибольшее влияние оказывает доза реагента и в меньшей степени – исходная концентрация шестивалентного хрома.

По уравнениям регрессии в безразмерном масштабе проведена оптимизация в программе MathCAD и построены регулировочные диаграммы (рис. 1).

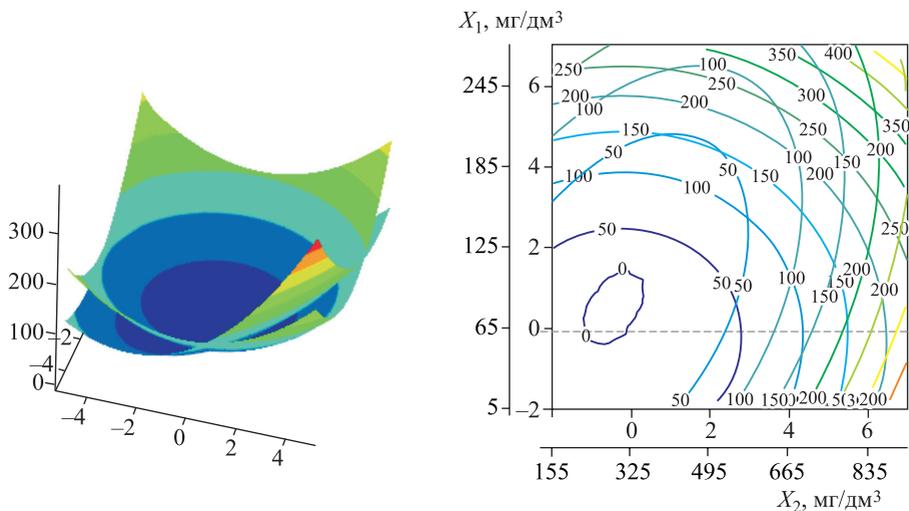


Рис. 1. Регулировочные диаграммы

На втором этапе исследований полученные данные были обработаны по методу Брандона. После обсчета по зависимостям нормализованных значений (рис. 2) получено соотношение остаточной концентрации

$$y = 5,79(0,0017x_1^2 - 0,1854x_1 + 5,2681)(0,00005x_2^2 - 0,0167x_2 + 2,9339).$$

Из рис. 2 видно, что зависимости носят нелинейный характер, поэтому можно определить оптимальные их значения.

После обсчета по зависимостям нормализованных значений (рис. 3) получено соотношение объема осадка

$$y = 17,49(0,0017x_1^2 - 0,1854x_1 + 5,2681)(0,00005x_2^2 - 0,0167x_2 + 2,9339).$$

(Метод расчета сводится к следующему: находилось условное значение параметра оптимизации: $y_0 = \frac{y}{y'}$, $y' = \frac{\sum y_i}{N}$, где N – объем выборки; y' – ус-

редненный выходной параметр. По точкам выбирались величины y_0 , x_1 , x_2 . Строились поле корреляции и эмпирическая линия регрессии $y_0 - x$. Определялся \min зависимости $y'_x = f_1(x_1)$. Коэффициенты уравнения вычислялись методом наименьших квадратов. Сравнивалась выборка новой величины $y_1 = \frac{y_0}{f_1(x_1)}$, которая уже не зависит от x_1 и определяется параметром x_2 . По

точкам первой выборки строились корреляционное поле и регрессионная линия, характеризующая зависимость y_1 от x_2 [6].

Характер зависимостей остаточных концентраций и объема осадка указывает оптимальные значения дозы реагента Polypacs-PFS.

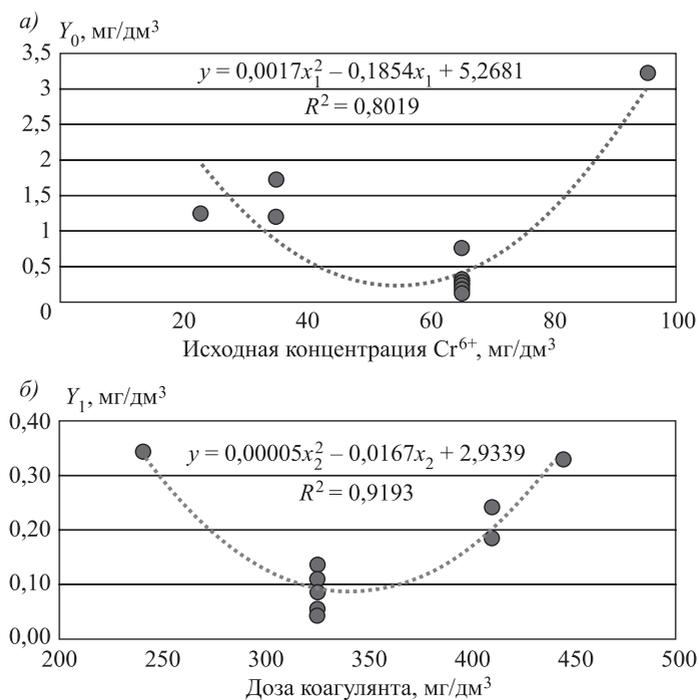


Рис. 2. Зависимость нормализованных значений остаточной концентрации от исходной концентрации (а) и от дозы реагента (б)

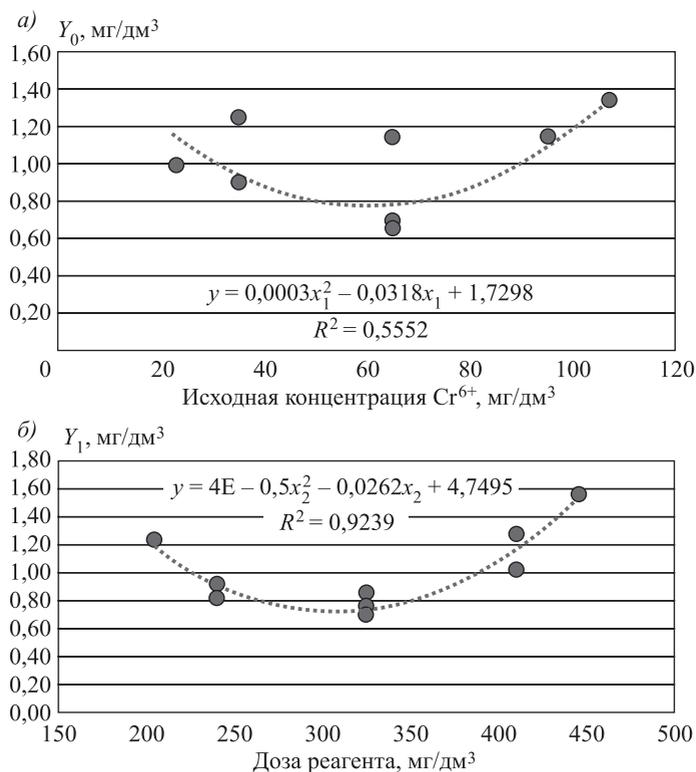


Рис. 3. Зависимость нормализованных значений объема осадка от исходной концентрации (а) и дозы реагента (б)

Результаты исследований процесса извлечения ионов хрома из сточных вод с помощью планирования эксперимента по методу Бокса–Хантера. С помощью обсчета полученных данных по методу Брандона определены оптимальные режимы по величине исходной концентрации ионов шестивалентного хрома 58 мг/дм³ и дозе реагента, равной 348 мг/дм³.

После реагентной обработки хромстоков и последующей корректировки величины рН образовался осадок. Для определения оптимального значения продолжительности отстаивания были проведены исследования по изучению динамики процесса седиментации осадка, по полученным результатам построены графики зависимости (рис. 4) [7].

Для анализа химического состава осадка наряду с дифференциальной сканирующей калориметрией (ДСК) был применен термогравиметрический метод (ТГ), основанный на изменении массы используемых образцов при нагревании в зависимости от температуры. Исследования проводились на приборе NETZSCHSTA 449F1 в режиме ДСК–ТГ, в атмосфере A_z , в диапазоне 30/20,0 (К/мин)/1000, при использовании программного обеспечения NE-TZSCH Proteus. Термограмма представлена на рис. 5 в виде кривых дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), мкВ/мг; дифференциально-термогравиметрического (ДТГ) анализа, %/мин, и термовесовой (ТГ) кривой, %.

Из термограммы видно, что при $t = 109$ °С возникает эндоэффект, который объясняется дегидратацией (потерей адсорбированной воды). Термоэффект при $t = 183,8$ °С характерен как для кристобалита (α -SiO₂), так и для

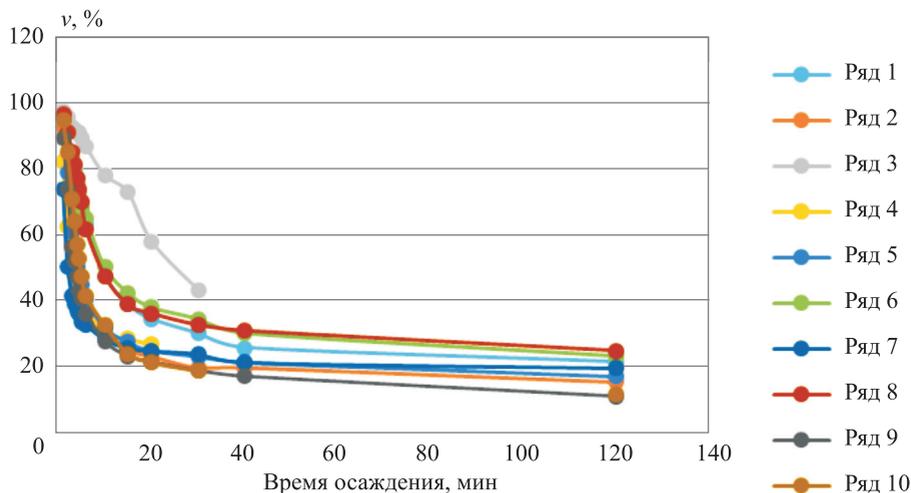


Рис. 4. Кинетика осаждения осадка хромосодержащих сточных вод

$$1 - y_1 = 0,016x_1^2 - 2,4306x_1 + 84,728$$

$$R^2 = 0,8694$$

$$2 - y_6 = 0,0146x_6^2 - 2,2558x_6 + 85,089$$

$$R^2 = 0,872$$

$$3 - y_2 = 0,0128x_2^2 - 1,9181x_2 + 64,261$$

$$R^2 = 0,642$$

$$4 - y_7 = 0,0072x_7^2 - 1,0823x_7 + 46,385$$

$$R^2 = 0,5365$$

$$5 - y_3 = 0,0139x_3^2 - 2,2893x_3 + 100,36$$

$$R^2 = 0,9965$$

$$6 - y_8 = 0,0154x_8^2 - 2,3354x_8 + 85,354$$

$$R^2 = 0,8431$$

$$7 - y_4 = 0,0183x_4^2 - 2,535x_4 + 60,682$$

$$R^2 = 0,6796$$

$$8 - y_9 = 0,0126x_9^2 - 1,9118x_9 + 60,161$$

$$R^2 = 0,6671$$

$$9 - y_5 = 0,0128x_5^2 - 1,9181x_5 + 64,261$$

$$R^2 = 0,642$$

$$10 - y = 0,0208x_{10}^2 - 3,0107x_{10} + 74,157$$

$$R^2 = 0,7696$$

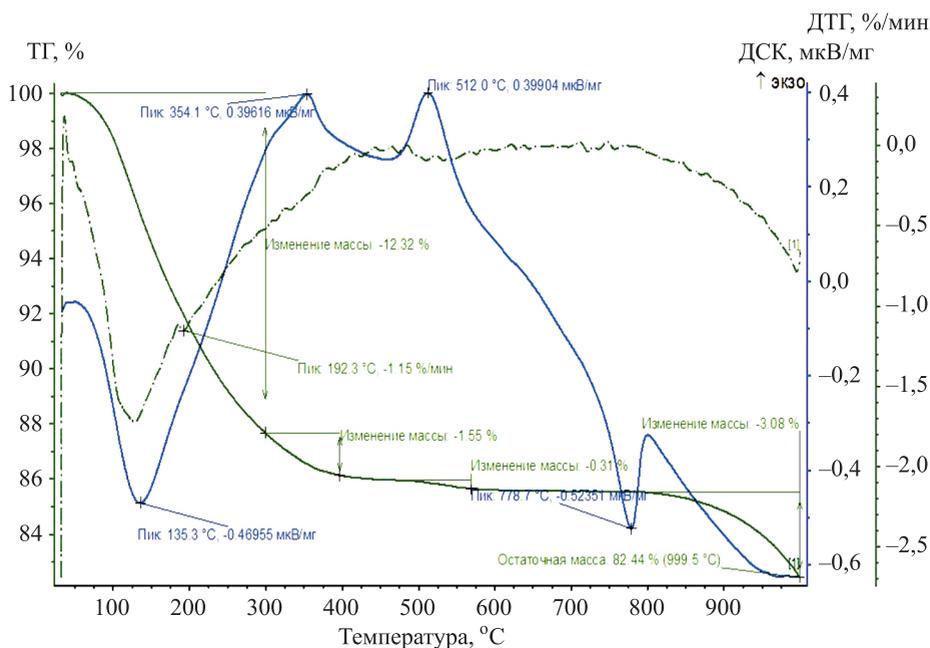


Рис. 5. Термограмма осадка

гетита (α -FeOОН). Экзоэффект при $t = 336,3$ °С связан с дегидратацией гетита и переходом его в магнетит. При этом мало гидратированного оксида хрома ($\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). При дальнейшем увеличении температуры до 552 и 660,9 °С наблюдается полиморфное превращение α -Fe₂O₃ в γ -Fe₂O₃, а также возможно выделение конституционной воды, образование феррита хрома (FeO · Cr₂O₃). Термоэффект при $t = 912,9$ °С объясняется наличием в образце магнетита (FeO · Fe₂O₃) [8].

Для более точного определения состава осадка реагентной обработки хромсодержащих сточных вод реагентом Polyracs-PFS был выполнен рентгенофазовый анализ при использовании дифрактометра «D8-Advance», немецкой фирмы «Bruker-ASX», дифрактограмма показана на рис. 6 [9, 10].

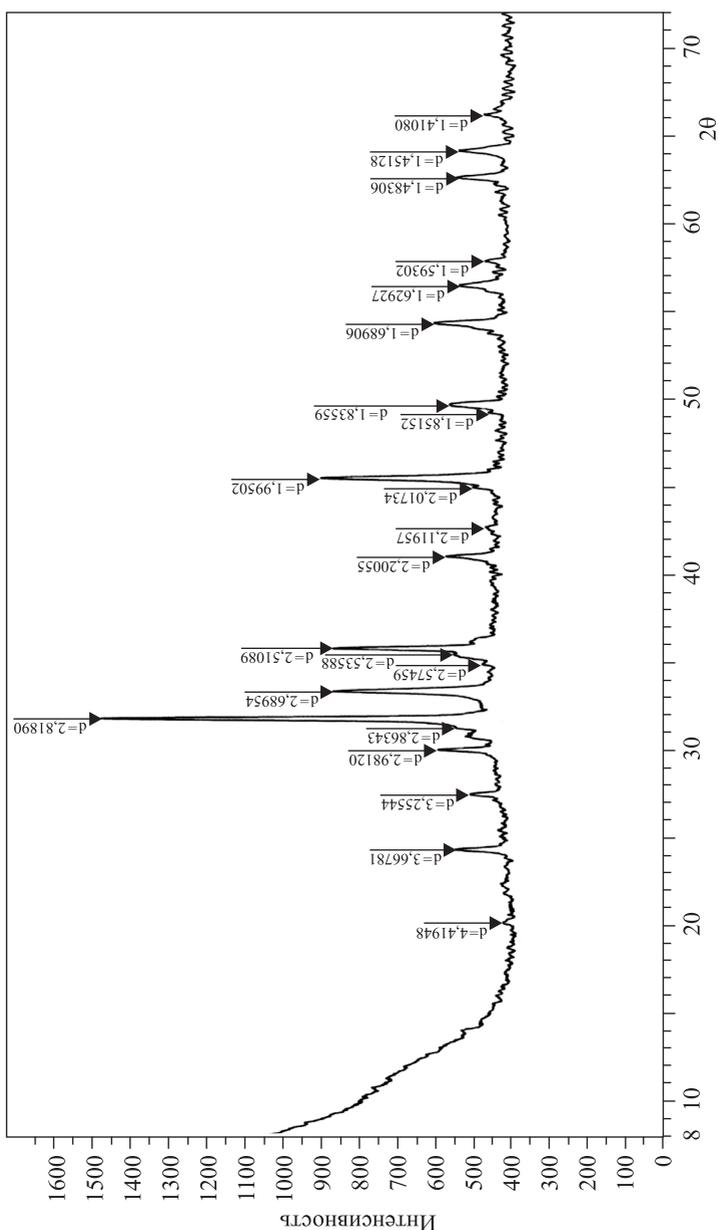


Рис. 6. Дифрактограмма осадка

Также были определены свойства осадка: влажность W – 97,8 %; плотность ρ – 0,97 г/см³; сухой остаток (105 °С) – 22,0 г/дм³; остаток после прокаливания (900 °С) – 14,27 г/дм³; зольность – 64,86 %; п.п.п. – 7,73 г/дм³; п.п.п. – 35,14 %; r – 80,2 · 10¹⁰ см/г.

На дифрактограмме видны линии с $d = 3,65; 2,98; 2,68; 2,51; 2,20; 2,01; 1,83; 1,68; 1,59; 1,48; 1,45$, указывающие на наличие $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, линия с $d = 1,41$ характерна для Cr_2O_3 .

Заключение. В результате исследований установлено, что для технологического процесса извлечения ионов хрома реагентом Polyracs-PFS оптимальными условиями являются: величина pH = 2,5, доза реагента – 348 мг/дм³, концентрация Cr^{6+} – 58 мг/дм³, время протекания реакции – 10 мин с последующей корректировкой величины pH = 8,5.

Анализ химического состава осадка термогравиметрическим и рентгенофазовым методами показал содержание различных форм железа типа Fe_2O_3 , $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, FeOON для разработки технологии утилизации осадка, что позволяет снизить техногенное воздействие на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виноградов С.С. Экологическое безопасное гальваническое производство. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Глобус, 2002. 352 с.
2. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник: в 3 т. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. 2825 с.
3. Борисова Г.Г., Чукина Н.В., Малеева М.Г. Аккумуляция гидрофитами тяжелых металлов в зависимости от их содержания в водной среде // IX Международный симпозиум и выставка «Чистая вода России–2007»: Ст. и тез. Екатеринбург, 2007. С. 66–71.
4. Губская Е.С. Утилизация отходов гальванического производства, содержащих хром (VI) // Экотехнологии и ресурсосбережение. 2005. № 2. С. 33–36.
5. Халтурина Т.И., Бобрик А.Г., Чурбакова О.В. Реагентная очистка хромсодержащих сточных вод // Вестн. ИрГТУ. 2014. № 6. С. 128–133.
6. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. М.: Высш. шк., 1978. С. 99–114.
7. Шатунова В.И. Очистка сточных вод в гальваническом производстве: Аналит. обзор. М.: ВНИИТЭМР, 1999. 32 с.
8. Иванова В.П., Касатов Б.П., Красавина Т.Н., Розинова Е.Л. Термический анализ минералов и горных пород. М.: Недра, 1974. 399 с.
9. Халтурина Т.И., Чурбакова О.В., Бобрик А.Г. Интенсификация процессов очистки сточных вод гальванического производства предприятий машиностроительного профиля // Вестн. ИрГТУ. 2016. № 4. С. 178–186. DOI: 10.21285/1814-3520-2016-4-178-186.
10. Халтурина Т.И., Уарова А.Н., Чурбакова О.В. Обработка осадков сточных вод металлообрабатывающих предприятий // Вестн. ИрГТУ. 2013. № 8. С. 109–115.

Халтурина Тамара Ивановна, канд. хим. наук, проф.; E-mail: thal1965@yandex.ru

Инженерно-строительный институт СФУ, г. Красноярск

Сколубович Юрий Леонидович, д-р техн. наук, проф.;

E-mail: skolubovich@sibstrin.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Войтов Евгений Леонидович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: voitovel@ya.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
Веснина Екатерина Андреевна, асп.; E-mail: kateandr16@mail.ru
Инженерно-строительный институт СФУ, г. Красноярск
Маркин Николай Игоревич, асп.; E-mail: hawk1409@yandex.ru
Инженерно-строительный институт СФУ, г. Красноярск

Получено 07.03.18

Khalturina Tamara Ivanovna, PhD, Professor; E-mail: thal1965@yandex.ru
School of Engineering and Construction of SFU, Krasnoyarsk, Russia
Skolubovich Yuriy Leonidovich, DSc, Professor; E-mail: skolubovich@sibstrin.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Voytov Evgeniy Leonidovich, DSc, Professor; E-mail: voitovel@ya.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Vesnina Ekaterina Andreevna, Post-graduate Student; E-mail: kateandr16@mail.ru
School of Engineering and Construction of SFU, Krasnoyarsk, Russia
Markin Nikolay Igorevich, Post-graduate Student; E-mail: hawk1409@yandex.ru
School of Engineering and Construction of SFU, Krasnoyarsk, Russia

DETERMINATION OF THE OPTIMAL TREATMENT MODES CHROMBASED SEWAGE BY POLYPACS-PFS REAGENT

In this paper, we present the results of experimental studies of the extraction Cr^{6+} ions from the wastewater of galvanic plants using the Polypacs-PFS reagent, as well as data on the composition of the precipitate formed. The aim is to determine the optimum regimes for treatment chrombased wastewater with the Polypacs-PFS reagent and to study the structure, properties and composition of the sediment. The Cr^{6+} ions concentration was determined on a 3300 atomic absorption spectrometer manufactured by Perkin-Elmer with a flame atomizer. To analyze the chemical composition of the sediment, a thermogravimetric method was used on the NETZSCHSTA 449F1 instrument in the DSC-TG mode, in the AZ atmosphere, in the range 30 / 20,0 (K / min) / 1000, using the NETZSCH Proteus software. To obtain a mathematical model and to identify the optimal recovery regimes for hexavalent chromium ions in the reagent treatment of effluents, a planned experiment was carried out using the Box-Hunter method. The properties and composition of the sediment formed after the treatment of sewage with the Polypacs-PFS reagent for the development of technology for its utilization were studied. It was found that the greatest effect of Cr^{6+} recovery is achieved under the following conditions for the process of sewage treatment: pH = 2,5; reagent dose = 348 mg / dm³ at a concentration of Cr^{6+} = 58 mg / dm³, the reaction time is 10 minutes with subsequent adjustment of pH = 8.5. Analysis the chemical composition of the sediment, showed the content of various iron forms (such as Fe_2O_3 , $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, FeOOH).

Key words: extraction; Cr^{6+} ions; wastewater; thermogravimetric analysis; thermogram; X-ray phase method; regression equations, optimization.

REFERENCES

1. Vinogradov S.S. *Ekologicheskoe bezopasnoe gal'vanicheskoe proizvodstvo* [Ecological safe galvanic production]. Moscow, 2002. 352 p. (in Russian)
2. Timonin A.S. *Inzhenerno-ekologicheskii spravochnik* [Engineering and environmental reference book]. Kaluga, 2003. 2825 p. (in Russian)

3. Borisova G.G., Chukina N.V., Maleva M.G. Akkumulyatsiya gidrofitami tyazhelykh metallov v zavisimosti ot ikh sodержaniya v vodnoy srede [Accumulation of heavy metals by hydrophytes depending on their content in the aquatic environment]. IX Mezhdunarodnyy simpozium i vystavka "Chistaya voda Rossii-2007": Stat'i i tezisy [IX International Symposium and Exhibition "Pure Water of Russia-2007": Articles and theses]. Ekaterinburg, 2007. Pp. 66–71. (in Russian)
4. Gubskaya E.S. Utilizatsiya otkhodov gal'vanicheskogo proizvodstva, sodержashchikh khrom (VI) [Utilization of waste of galvanic production containing chromium (VI)]. Ecotekhnologii i resursosberezhenie [Ecotechnologies and resource saving]. 2005. No. 2. Pp. 33–36. (in Russian)
5. Khalturina T.I., Bobrik A.G., Churbakova O.V. Reagentnaya ochistka khromsoderzhashchikh stochnykh vod [Reagent purification of chrome-containing wastewater]. Vestnik IrGTU [Bull. of IrSTU]. 2014. No. 6. Pp. 128–133. (in Russian)
6. Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. Optimizatsiya eksperimenta v khimii i khimicheskoy tekhnologii [Optimization of the experiment in chemistry and chemical technology]. Moscow, 1978. Pp. 99–114. (in Russian)
7. Shatunonova V.I. Ochistka stochnykh vod v gal'vanicheskom proizvodstve [Wastewater treatment in galvanic production]. Moscow, 1999. 32 p. (in Russian)
8. Ivanova V.P., Kasatov B.P., Krasavina T.N., Rozinova E.L. Termicheskiy analiz mineralov i gornykh porod [Thermal analysis of minerals and rocks]. Moscow, Nedra, 1974. 399 p. (in Russian)
9. Khalturina T.I., Churbakova O.V., Bobrik A.G. Intensifikatsiya protsessov ochistki stochnykh vod gal'vanicheskogo proizvodstva predpriyatii mashinostroitel'nogo profilya [Intensification of wastewater treatment processes of galvanic production of enterprises of machine building profile]. Vestnik IrGTU [Bull. of IrSTU]. 2016. No. 4. Pp. 178–186. DOI: 10.21285 / 1814-3520-2016-4-178-186. (in Russian)
10. Khalturina T.I., Uarova A.N., Churbakova O.V. Obrabotka osadkov stochnykh vod metallobrabatyvayushchikh predpriyatii [Treatment of sewage sludge of metalworking enterprises]. Vestnik IrGTU [Bull. of IrSTU]. 2013. No. 8. Pp. 109–115. (in Russian)

УДК 628.35

И.И. ИВАНЕНКО, Ю.И. ПИСКУНОВИЧ

ВЛИЯНИЕ НОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ РЕАГЕНТОВ НА ТЕХНОЛОГИЮ ГЛУБОКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГОРОДСКИХ СТОКОВ

Представлены результаты изучения модернизации очистных сооружений городских сточных вод при использовании композиционного реагента нового поколения. Внедрение данной технологии на ряде очистных сооружений показало существенное улучшение качества очищенной воды до требований предельно допустимых концентраций рыбохозяйственного водоема, а также возможности увеличения нагрузки на очистные сооружения при введении в возвратный ил реагента.

Ключевые слова: водоотведение, очистные сооружения, композиционный реагент, биологическая очистка, доза реагента, реагентная доочистка, ретехнологизация.

Анализ сложившейся в России ситуации показал, что реконструкция существующих и строительство дополнительных очередей на станциях очистки стоков (КОС) ведется с применением новых технологий удаления азота и фосфора, но доля этих объектов не превышает 10 % всех действующих сооружений [1–4]. КОС зачастую находятся в неудовлетворительном состоянии и более 90 % таких сооружений не способны обеспечить удаление азота и фосфора до нормативных предельно допустимых концентраций (ПДК). Переход на них к наилучшим доступным технологиям требует существенных капиталовложений при реконструкции и значительного времени.

Если для удаления азотных соединений можно использовать процесс глубокой биологической очистки, сочетая процессы нитрификации-денитрификации, то технология биологического удаления фосфора имеет ряд особенностей, которые усложняют ее реализацию:

1. Устройство анаэробной зоны требует увеличения объема аэротенка на 10–20 %.

2. Одним из важных условий эффективной работы анаэробной зоны является предотвращение попадания в нее больших концентраций азота нитратов, так как в их присутствии легкие жирные кислоты будут потребляться денитрифицирующими, а не фосфораккумулирующими микроорганизмами (ФАО).

3. Биологически поглощенный фосфор имеет способность к быстрому выделению в жидкую фазу при попадании ила в анаэробные условия, которые могут создаваться во вторичных отстойниках и узле обработки осадка.

4. Применение метода возможно при оптимальном качестве воды по содержанию органических веществ и растворенного кислорода, равномерности поступления нагрузок и существенно зависит от температуры сточных вод.

Физико-химический метод извлечения фосфора из сточных вод лишен вышеперечисленных недостатков, присущих биологическому способу удаления фосфора. Технология базируется на химическом осаждении фосфора

реагентами и дозирование может осуществляться на разных этапах обработки сточных вод. Как показали исследования, на очистных сооружениях г. Сестрорецка, оптимальной точкой дозирования в условиях поступления разбавленного стока, характерного для вод г. Санкт-Петербурга, является дозирование в иловую смесь в конце азротенка, перед вторичными отстойниками, доза вводимого реагента при этом пропорциональна количеству удаляемых фосфатов [5–8]. В основе процесса лежит сорбция фосфатов на хлопьях химического реагента, которые впоследствии улавливаются вто-

Таблица 1. Характеристика реагентов, применяемых при физико-химической

Показатель	Сульфат алюминия	Хлорное железо	Смесь солей алюминия и титана
Производитель	ЗАО «КемераХИМ»	ЗАО «КемераХИМ»	АО «Ситтек»
Состав	$Al_2(SO_4)_3$	$FeCl_3$	Хлорид алюминия и оксид титана
Форма выпуска	Мелкие гранулы, порошок	Порошок	Гранулы, порошок
<i>Рабочие</i>			
рН стока	6,5–7,5	< 4	8,0–10,0
Диапазон температур действия, °С	Свыше 10	Свыше 10	Свыше 5
Доля активного вещества, %	16	30–40	12 – TiO_2 47 – Al_2O_3
<i>Влияние на процесс</i>			
Положительное	Низкая рыночная стоимость	Эффективный процесс коагуляции Компактность хлопка, быстрая осаждаемость	Высокая скорость хлопьеобразования и осаждения
Негативное	Чувствителен к изменениям температуры и рН Хлопок рыхлый, неустойчивый к механическому воздействию Высокая концентрация остаточного алюминия в очищенной воде	Необходимо дополнительное подщелачивание, ввиду снижения рН Высокая коррозионная активность по отношению к железу и бетону	Работает при высоких значениях рН Низкая эффективность удаления фосфора

ричными отстойниками. Использование данного метода позволяет снизить остаточную концентрацию фосфора в очищенном стоке до 0,2–0,5 мг/л.

В табл. 1 представлено сравнение используемых в современной практике водоочистки в России реагентов для удаления фосфора методом химического осаждения [9, 10].

Как видно из табл. 1, свойства композиционных реагентов последнего поколения ориентированы и на процессы коагуляции загрязнений, и на свойства хлопков активного ила, делая их более компактными и легко осаж-

очистке сточных вод

Биокат P500	Алюможелезный коагулянт
VTA Austria GmbH	ОАО «Сорбент» (ТУ 2163-141-057695731-2004)
Смесь полиалюминия гидроксихлорид хлорида железа (II) и эпихлоргидриндиметиламин сополимер	Смесь сульфата алюминия и хлорного железа
Жидкость	Порошок, гранулы

свойства

2,0–10,0	2,5–7,5
5–20 и выше	5–20 и выше
40 – Al ₂ O ₃ 30 – Fe ₂ O ₃ 25 – эпихлоргидриндиметиламин сополимер	12 – Al ₂ O ₃ 2,5 – Fe ₂ O ₃

очистки

Высокая скорость хлопьеобразования и осаждения Компактность хлопка и его стойкость при механическом воздействии Возможно использовать в холодный период года Независимость коагуляционной способности от температуры и pH очищаемой воды Эффективное удаление фосфора при минимальных дозах Минимальное влияние на жизнедеятельность микроорганизмов активного ила Отсутствие необходимости третичной ступени очистки	Возможно использовать в холодный период года Независимость коагуляционной способности от температуры очищаемой воды
Коррозионная активность по отношению к металлу	Повышенное содержание нерастворимых примесей в растворе

даемыми. Увеличение скорости осаждения хлопка, особенно в условиях КОС, позволит снизить нагрузку на вторичные отстойники, которые являются слабым звеном на каждой КОС, запроектированной в середине XX в.

Некоторые современные композитные реагенты двойного действия содержат полимеры на основе эпихлоргидриндиметиламина, которые производятся путем реакции конденсации первичных или вторичных аминов с эпихлоргидрином. Эмпирическая формула $(C_aH_bN_cO_dCl_e)_n$, где a, b, c, d и e – переменные, определяемые используемыми реагентами и их молярным соотношением. Соотношение компонентов препарата и форма их приготовления являются «ноу-хау» компании производителя. Железо в составе данного реагента находится в форме наночастиц ферромагнетита, а также полиалюминия гидроксихлорид и сополимер эпихлоргидрина и диметиламина с размерами фракции 10–500 нм.

Изучение особенностей композитного коагулянта нового поколения с наночастицами двойного действия происходило в лабораторных и опытно-промышленных условиях на двух станциях биологической очистки стоков (БОС) различной производительности с разной технологией очистки сточных вод и обработки осадка.

В лабораторных условиях были проведены исследования по определению эффективности использования реагента нового поколения в процессе удаления фосфора (фосфатов), улучшения свойств осадков (снижение объемного индекса осадка, повышение скорости осаждения, связывание мелких хлопков) в цилиндрах объемом 1000 см³. Результаты исследований представлены на рис. 1 и 2.

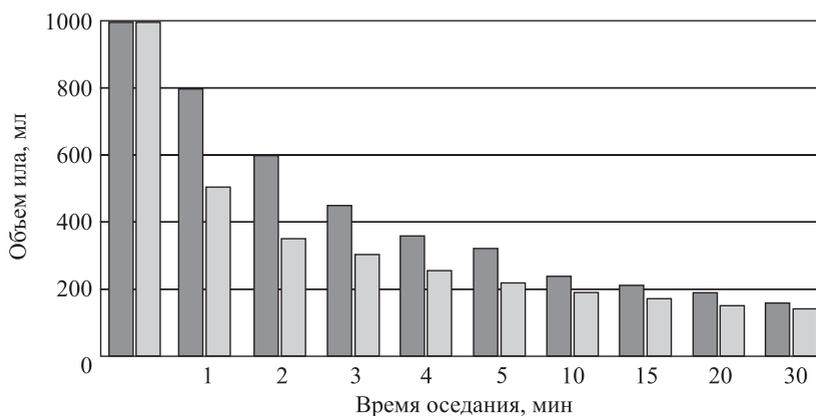


Рис. 1. Скорость оседания ила (слева направо: контрольная проба, проба с дозой реагента 4,4 мг/л)

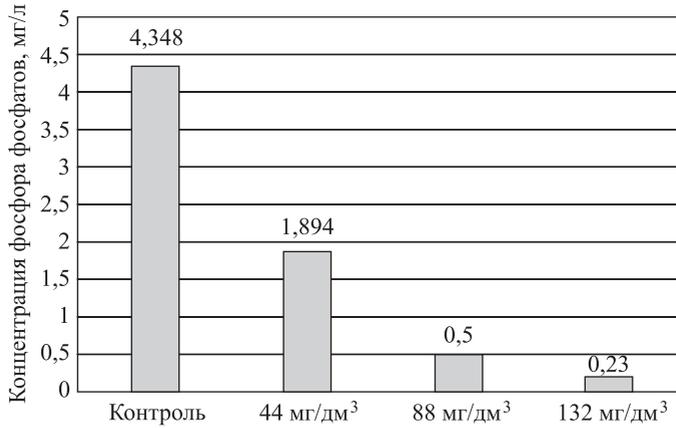


Рис. 2. Концентрация фосфора фосфатов в осветленной воде при различных значениях дозы реагента

В ходе лабораторных исследований было установлено, что доза композиционного реагента 44, 88, 132 мг/дм³ обуславливает 56, 88 и 95 % эффективности дефосфатации соответственно. На основании этих результатов можно сделать вывод, что увеличение дозы реагента способствует большему накоплению фосфора на поверхности хлопьев активного ила в виде нерастворимых соединений.

Базой для натурального изучения влияния композиционного коагулянта стали очистные сооружения производительностью 4 и 30 тыс. м³/сут в Северо-Западном регионе. Описание технологии очистки сточных вод на обеих станциях представлено в табл. 2, а в табл. 3 приведена фактическая нагрузка КОС. Основной проблемой обеих очистных станций является их перегрузка, вследствие чего блок биологической очистки не справляется с поступающей массой загрязнений и на выпуске очищенные сточные не соответствуют нормативным ПДК, а также европейским нормам (например, Директиве Совета Европейского Сообщества «об очистке городских стоков» 91/271/ЕЕС от 21.05.1991 г. и рекомендациям ХЕЛКОМ 28Е/5 «Очистка городских сточных вод» по показателям БПК₅, взвешенных веществ, общего азота и общего фосфора).

В ходе испытаний дозирование композиционного реагента осуществлялось в возвратный (циркуляционный) активный ил, что позволило обеспечить минимальный расход реагента, качественное смешение реагента с иловой смесью и длительное пребывание в системе очистки стоков.

Доза композиционного реагента рассчитывается на основании количества фосфора, образующегося в сточной воде за сутки сверх нормируемой ПДК, по формуле

$$q_{\text{Биокат}} = \frac{q_{\text{сут}} (C_{\text{вх}} - C_{\text{ПДК}}) D_{\text{Биокат}}}{1000}, \text{ кг/сут,}$$

где $q_{\text{сут}}$ – среднесуточный расход сточных вод, м³/сут;

$C_{\text{вх}}$ – средняя концентрация фосфора фосфатов на входе, мг/дм³;

$C_{\text{ПДК}}$ – ПДК для сброса в водоем, мг/дм³;

$D_{\text{Биокат}}$ – предварительная доза реагента на основании лабораторного тестирования кг/кг фосфора фосфатов.

Таблица 2. Описание процесса очистки сточных вод действующих очистных сооружений

Показатель	Основное технологическое оборудование на станции	
	БОС № 1	БОС № 2
Проектная производительность, м ³ /сут	4 000	30 000
Фактическая производительность, м ³ /сут	3000–5000	15 000–43 000
Выделение грубых плавающих примесей (процеживание)	Механические ступенчатые решетки (2 шт.)	Стержневые циклические решетки (3 шт.)
Удаление оседающих грубых примесей (песка)	Тангенциальные песколовки диаметром 3 м (2 шт.)	Песколовки горизонтальные с прямолинейным движением жидкости (2 шт.)
Осаждение взвешенных веществ (осветление, первичное отстаивание)	Первичные отстойники горизонтального типа с секционированным днищем (2 секции)	Первичные отстойники радиального типа $d = 16$ м (4 шт.)
Обработка в аэротенках биологической очистки	Аэротенки нитри-денитрификаторы (2 секции)	Аэротенки-вытеснители трехкоридорные (2 секции)
Отделение очищенной воды от биомассы, вытесненной из аэротенка	Вторичные отстойники горизонтального типа с секционированным днищем (2 секции)	Вторичные отстойники радиального типа $d = 20$ м (3 шт.)
Обезвоживание и подсушка осадка	Иловые площадки	Илоуплотнители, деканторная центрифуга

Таблица 3. Проектная и фактическая нагрузка на очистные сооружения по загрязняющим веществам

Загрязняющий компонент	Концентрации загрязняющих компонентов на выпуске сточных вод					
	БОС № 1, мг/л			БОС № 2, мг/л		
	проектная нагрузка	фактическая нагрузка	превышение нагрузки, %	проектная нагрузка	фактическая нагрузка	превышение нагрузки, %
Взвешенные вещества, г/дм ³	135	228,8	69,5	180	135,73	–
БПК ₅ , мг/дм ³	156	230,5	47,7	143	163,11	14
Фосфор фосфатов, мг/дм ³	9,8	26,1	166,3	Н/д*	3,50	–
Фосфор общий, мг/дм ³	Н/д*	Н/д**	–	»	4,71	–
Аммоний-ион, мг/дм ³	21,75	97,2	346,9	»	33,58	–
Нитрит-ион, мг/дм ³	Н/д*	0,26	–	»	Н/д**	–
Нитрат-ион, мг/дм ³	»	0,82	–	»	0,17	–

* Данные показатели не учитывались в процессе проектирования очистной станции.

** Данные не определяются лабораторией очистной станции.

Таблица 4. Результаты количественного химического анализа сточной воды на выпуске из вторичных отстойников, выполненного по окончании испытания реагента

Загрязняющий компонент, мг/дм ³	Концентрации загрязняющих компонентов на выпуске сточных вод					
	БОС № 1, мг/л			БОС № 2, мг/л		
	до начала испытаний	по окончании испытаний	ПДК	до начала испытаний	по окончании испытаний	ПДК
Взвешенные вещества	18,6	4,8	5,1	13	<5,0	10,25
БПК ₅	8,3	0,8	3,0	4,6	<3,0	4,0
Фосфор фосфатов	2,18	0,08	0,20	0,21	<0,1	0,20
Фосфор общий	Н/д*	Н/д*	Н/д*	0,68	0,13	1,5
Аммоний-ион	4,25	0,5	0,50	3,76	4,9	0,50
Нитрит-ион	1,50	0,05	0,08	Н/д*	Н/д*	Н/д*
Нитрат-ион	67,1	30,7	40	27,4	13,7	40
Азот общий	Н/д*	Н/д*	Н/д*	11,2	9,7	10
Алюминий	»	»	»	0,34	0,06	0,04

* Н/д – данные не определяются лабораторией очистной станции.

Результаты химического анализа сточной воды на выпуске из вторичных отстойников, выполненного после испытания реагента на КОС, представлены в табл. 4. В конце промышленной апробации композиционного коагулянта наблюдалось снижение взвешенных веществ на 75 и 95 %, БПК₅ на 90 и 40 %, фосфора на 96 и 80 % соответственно на обеих станциях.

На рис. 3, 4 показаны графики, полученные на КОС в ходе промышленного испытания.

На БОС № 1 наблюдаются высокие значения общего фосфора на входе на очистные сооружения, что связано с малым водопотреблением в северных районах, которое влечет за собой более концентрированные стоки. На 7–9-й дни испытаний произошел скачок в дозировании реагента в систему биологической очистки на БОС № 1, который связан с привозом на очистные сооружения около 800 м³ концентрированного стока с ассенизаторских машин соседнего поселка. В качестве эксперимента в ходе апробации на БОС № 2 был организован перерыв в дозировании на 7 дней, при этом было зафиксировано снижение качества очистки сточной воды по показателю концентрации фосфора фосфатов. При повторном начале дозирования композиционного реагента была выявлена необходимость увеличения дозы для выхода на стабильные показатели (см. рис. 3, б).

Выводы 1. Применение современных композиционных реагентов двойного действия на КОС позволит в кратчайшие сроки уменьшить количество

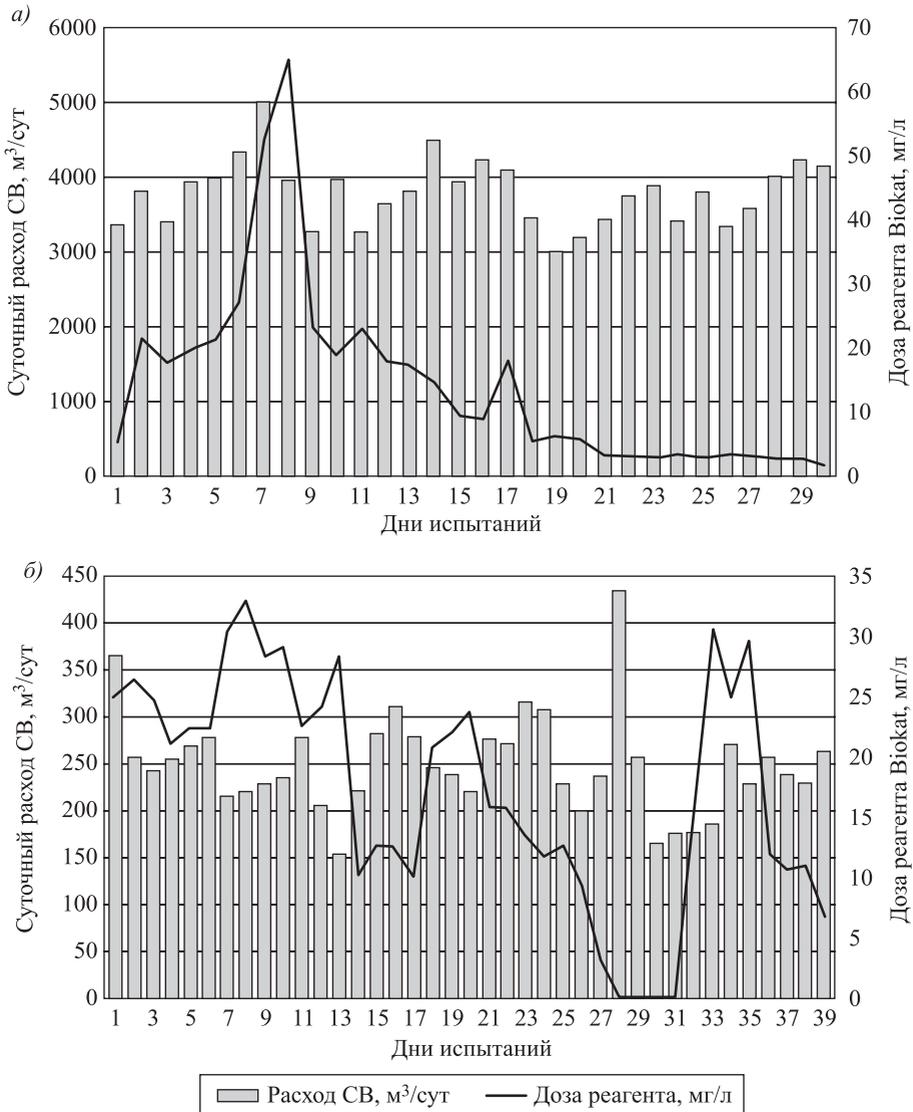


Рис. 3. Результаты измерения расхода сточных вод (СВ) и расхода реагента на протяжении исследования на БОС № 1(а) и БОС № 2 (б)

сбрасываемых ненормативно-очищенных стоков в водные объекты и снизить плату за негативное воздействие очистной станции на природу, что также возможно расценивать внедрением подходов наилучших доступных технологий к модернизации очистной станции.

2. Для использования такого метода необходимы минимальные затраты, что подтверждено опытами на БОС № 1 и БОС № 2:

реагент поставляется на объект в готовом для применения жидком виде, что не требует устройства растворных и расходных емкостей и дополнительной площади для разрешения;

реагент дозируется в систему аэротенка (возвратный ил), что позволяет регулировать процесс биологической очистки и улучшает качественные характеристики очистки.

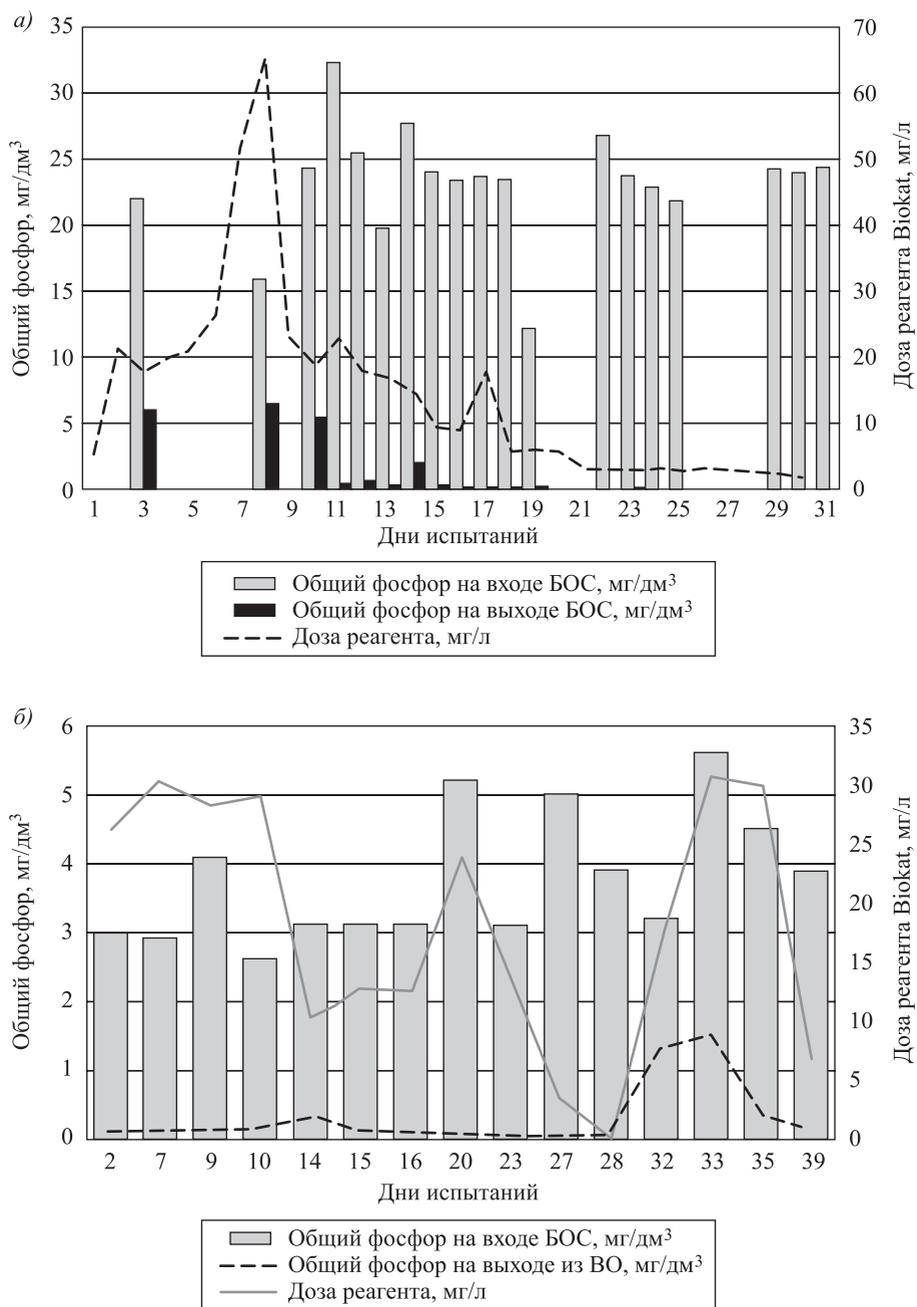


Рис. 4. Результаты измерения расхода реагента и концентрация общего фосфора на выходе из очистных сооружений на фоне поступающего общего фосфора на входе на протяжении периода исследования на БОС № 1 (а) и БОС № 2 (б)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: АКВАРОС, 2003. 512 с.
2. Данилович Д.А., Чечеватова О.Ю. Переходы к разработке Справочников по наилучшим доступным технологиям в области водоотведения в 2015 г. //

- Наилучшие доступные технологии для водоснабжения и водоотведения. 2015. № 1. С. 6–13.
3. Д а н и л о в и ч Д.А. НДТ очистки сточных вод поселений: концепция информационно-технического справочника // Наилучшие доступные технологии для водоснабжения и водоотведения. 2015. № 3–4. С. 13–17.
 4. Д а н и л о в и ч Д.А., Э п о в А.Н., К а н у н н и к о в а М.А. Применение основных технологий на сооружениях очистки сточных вод: анализ данных в целях технологического нормирования // Наилучшие доступные технологии для водоснабжения и водоотведения. 2015. № 3–4. С. 18–28.
 5. К а р м а з и н о в Ф.В. и др. Отведение и очистка сточных вод Санкт-Петербурга. СПб.: Изд-во «Новый журнал», 2002. 683 с.
 6. S m i r n o v a E., M i s h u k o v B. Optimisation of wastewater treatment for safety in St. Petersburg, Russia // Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management, «Thomas Telford Ltd.». 2017. No.170(4). P. 184–197.
 7. S m i r n o v a E., A l e k s e e v M. Waste water of north-west Russia as a threat to the Baltic // Journal of Environmental Engineering and Science, «ICE Publishing». 2016. No.11(3). P. 67–78.
 8. П а н к о в а Г.А., Р у б л е в с к а я О.Н., Л е о н о в Л.В. Деятельность ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» по снижению негативного воздействия на окружающую среду // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 7. С. 14–23.
 9. Г л у п а к А.Н., Д у б и н о в а Н.В. Технология очистки воды активированными коагулянтами // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. Киев: Техніка, 2002. Вып. 45.
 10. С е р п о к р ы л о в Н.С., В и л ь с о н Е.В., Г р и з о д у б Н.Н. Дефосфотизация сточных вод отходами производств // Водоснабжение и канализация. 2014. № 7–8. С. 31–35.

Иваненко Ирина Ивановна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: i5657@mail.ru
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Пискунович Юлия Игоревна, студ.; E-mail: julet-elle@rambler.ru
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Получено после доработки 07.03.18

Ivanenko Irina Ivanovna, PhD, Ass. Professor; E-mail: i5657@mail.ru
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russia
Piskunovich Yuliya Igorevna, Student;
E-mail: julet-elle@rambler.ru
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

INFLUENCE OF NEW COMPOSITE REAGENTS ON THE TECHNOLOGY OF DEEP BIOLOGICAL CLEANING OF URBAN WASTEWATER

The article presents the results of the study on the modernization of sewage treatment plants in urban wastewater using a new generation of composite reagents. The introduction of this technology in a number of treatment facilities has shown a significant improvement in the quality of treated water to the requirements of the maximum permissible concentration of fish and water reservoirs, as well as the possibility of increasing the load on treatment plants when introduced into a reagent sludge reagent.

Key words: water disposal, treatment facilities, composite reagent, biological treatment, reagent dose, reagent post-treatment, re-engineering.

REFERENCES

1. Zhmur N.S. Tekhnologicheskie i biokhimicheskie protsessy ochistki stochnykh vod na sooruzheniyakh s aerotenkami [Technological and biochemical processes of wastewater treatment at structures with aerotanks]. Moscow, AKVAROS, 2003. 512 p. (in Russian)
2. Danilovich D.A., Chechevatova O.Yu. Perekhody k razrabotke Spravochnikov po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam v oblasti vodootvedeniya v 2015 g. [Transitions to the development of Handbooks on Best Available Technologies in the field of Sanitation in 2015]. Nailuchshie dostupnye tekhnologii dlya vodosnabzheniya i vodootvedeniya [Best available technologies for water supply and sanitation]. 2015. No. 1. Pp. 6–13. (in Russian)
3. Danilovich D.A. NDT ochistki stochnykh vod poseleniy: kontseptsiya informatsionno-tekhnicheskogo spravochnika [BAT of wastewater treatment in settlements: the concept of an information and technical reference book]. Nailuchshie dostupnye tekhnologii dlya vodosnabzheniya i vodootvedeniya [Best available technologies for water supply and sanitation]. 2015. No. 3-4. Pp. 13–17. (in Russian)
4. Danilovich D.A., Epov A.N., Kanunnikova M.A. Primenenie osnovnykh tekhnologiy na sooruzheniyakh ochistki stochnykh vod: analiz dannykh v tselyakh tekhnologicheskogo normirovaniya [Application of the main technologies in wastewater treatment plants: data analysis for the purpose of technological standardization]. Nailuchshie dostupnye tekhnologii dlya vodosnabzheniya i vodootvedeniya [Best available technologies for water supply and sanitation]. 2015. No. 3-4. Pp. 18–28. (in Russian)
5. Karmazinov F.V. et al. Otvedenie i ochistka stochnykh vod Sankt-Peterburga [Waste water disposal and treatment in St. Petersburg]. St. Petersburg, «Novyy zhurnal», 2002. 683 p. (in Russian)
6. Smirnova E., Mishukov B. Optimisation of wastewater treatment for safety in St. Petersburg, Russia. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management, «Thomas Telford Ltd.». 2017. No.170(4). Pp. 184–197.
7. Smirnova E., Alekseev M. Waste water of north-west Russia as a threat to the Baltic. Journal of Environmental Engineering and Science, «ICE Publishing». 2016. No. 11(3). Pp. 67–78.
8. Pankova G.A., Rublevskaya O.N., Leonov L.V. Deyatel'nost' GUP «Vodokanal Sankt-Peterburga» po snizheniyu negativnogo vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu [Activity of «Vodokanal of St. Petersburg» to reduce the negative impact on the environment]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2016. No. 7. Pp. 14–23. (in Russian)
9. Glupak A.N., Dubinova N.V. Tekhnologiya ochistki vody aktivirovannymi koagulyantami [Technology of water purification by activated coagulants]. Kommunal'noe khozyaystvo gorodov [Municipal economy of cities]. Kiev, 2002. No. 45. (in Russian)
10. Serpokrylov N.S., Vil'son E.V., Grizodub N.N. Defosfotizatsiya stochnykh vod otkhodami proizvodstv [Dephosphotization of sewage with industrial wastes]. Vodosnabzhenie i kanalizatsiya [Water supply and sewerage]. 2014. No. 7–8. Pp. 31–35. (in Russian)

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ



УДК 532.595.2

А.А. АТАВИН, Т.Э. ОВЧИННИКОВА, В.В. ТАРАСЕВИЧ

ВЫБОР МОДЕЛИ РАСЧЕТА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН ПОЛОВОДИЙ И ПАВОДКОВ НА УЧАСТКЕ ВЕРХНЕЙ ОБИ

Рассматривается процесс распространения и трансформации волн половодий и паводков по системе речных русел на участке верхней Оби. Течение описывается одномерными уравнениями Сен-Венана в дивергентной форме. Приводятся граничные условия для описания течения в характерных точках: створ плотины, притоки, а также обоснования для выбора методики расчета.

Ключевые слова: участок естественного русла, паводок, половодье, волна, распространение.

Для достоверного прогноза возможной зоны затопления и других последствий распространения половодий и паводков необходимо опираться на результаты достаточно точных численных расчетов, основанных на адекватной математической модели процесса. Так как возмущения имеют достаточно малую амплитуду и распространяются в основном вдоль русла (одномерный процесс), для описания распространения этих возмущений представляется целесообразным использовать одномерную теорию мелкой воды.

Пусть x – расстояние вдоль оси русла (по тальвегу); t – время; $z(x, t)$ – ордината свободной поверхности воды в абсолютной системе отсчета (например, в Балтийской (БС)); $z_b(x)$ – отметка дна в этой же системе; $h(x, t) = z(x, t) - z_b(x)$ – глубина потока; $B(x, z)$ – ширина русла на свободной поверхности в сечении x ; $Q(x, t)$ – расход воды через поперечное сечение русла. В этих обозначениях уравнения Сен-Венана имеют вид [1–3]:

$$B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_*, \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial vQ}{\partial x} + g\omega \frac{\partial z}{\partial x} = q_* v_* - g\omega \frac{Q|Q|}{K^2}. \quad (2)$$

Здесь $B(x, \xi)$ – ширина русла на расстоянии ξ от дна;

$\omega(x, z) = \int_0^h b(x, \xi) d\xi$ – площадь поперечного сечения;

$v = Q/\omega$ – средняя скорость течения;

© Атавин А.А., Овчинникова Т.Э., Тарасевич В.В., 2018

$q_*(x, t, h)$ – расход путевого притока на единицу длины русла;
 v_* – проекция скорости путевого притока на ось OX (обычно считают $v_* = 0$);
 $K = C\omega R^{1/2}$ – модуль расхода;

C – коэффициент Шези (здесь принимаем формулу Маннинга $C = R^{1/6}/\kappa$,
 κ – коэффициент шероховатости);

R – гидравлический радиус (отношение $\omega(x, z)$ к смоченному периметру $\chi(x, z)$) [4].

Система уравнений (1)–(2) может быть приведена к характеристической форме и записана в векторной форме [5]

$$\mathbf{S} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \Lambda \mathbf{S} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial x} = \mathbf{F}, \quad (3)$$

где

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} z \\ Q \end{bmatrix}, \quad \mathbf{S} = \begin{bmatrix} -B(v-c) & 1 \\ -B(v+c) & 1 \end{bmatrix}, \quad \Lambda = \begin{bmatrix} v+c & 0 \\ 0 & v-c \end{bmatrix}, \quad c = \sqrt{\frac{g\omega}{B}},$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} v^2 \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)_{h=\text{const}} - B \frac{dz_b}{dx} - g\omega \frac{Q|Q|}{K^2} + q_*(v_* - v + c) \\ v^2 \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)_{h=\text{const}} - B \frac{dz_b}{dx} - g\omega \frac{Q|Q|}{K^2} + q_*(v_* - v - c) \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} F_1(\mathbf{u}) \\ F_2(\mathbf{u}) \end{bmatrix}.$$

Система русел представляет собой ориентированный граф [6], точнее одномерный комплекс [7, 8] Γ , т. е. множество вершин, соединенных между собой отрезками, длины которых равны длинам соответствующих участков русла, и для которых указана начальная и конечная вершины (левый и правый конец). Структура графа Γ описывается с помощью матрицы связностей размерности $2 \otimes M$, где M – число участков. Первая строка матрицы содержит номера левых вершин, вторая – номера правых. Номера отрезков совпадают с номерами левых концов.

В случае разветвленного русла (граф Γ типа «дерево») применяется специальная система нумерации вершин и отрезков, при которой отрезки имеют номера $1, \dots, M$, вершины – номера $1, \dots, M+1$. Номера вершин, примыкающих к левым концам отрезков, совпадают с номерами отрезков, а матрица связностей задается вектором номеров правых вершин отрезков [9].

Нумерация вершин строится следующим образом. Выберем конечную вершину и присвоим ей номер $M+1$. Затем выберем примыкающий к ней отрезок и присвоим ему, а также занумерованной еще вершине номер M . Затем выберем отрезок, примыкающий к одной из занумерованных вершин, и присвоим ему и занумерованной его вершине номер $M-1$. Процесс продолжаем до тех пор, пока не занумеруем номером 1 последнюю вершину.

Отрезки графа Γ ориентируем от меньшего номера к большему. Таким образом, из каждой вершины (кроме конечной) будет выходить ровно один отрезок, а входить может несколько. Может существовать несколько начальных вершин, в которые не входит ни один отрезок («висячие вершины»). В конечную вершину отрезки только входят. Для p -й вершины будем обозна-

чать через γ_+^p множество номеров отрезков, входящих в эту вершину, а через γ^p множество номеров всех примыкающих к ней отрезков.

При описании краевых условий будем использовать следующие обозначения: m – номер отрезка (нижний индекс); p – номер вершины (верхний индекс); γ^p – множество номеров вершин, примыкающих к p -й вершине (учитываются как входящие, так и выходящие отрезки); Q_m^p, z_m^p – расход и уровень на конце m -го отрезка, примыкающего к p -й вершине; $Q^p(t), z^p(t)$ – расход сосредоточенного притока в вершину p и уровень в этой вершине.

В вершинах ставятся следующие условия сопряжения:

1. *Баланс расходов*

$$\sum_{m \in \gamma^p} \eta_m^p Q_m^p + Q^p = \Omega^p \frac{dz^p}{dt}. \quad (4)$$

Здесь

$$\eta_m^p = \begin{cases} -1 & \text{для левого конца отрезка;} \\ 1 & \text{для правого конца отрезка;} \end{cases}$$

$\Omega^p(z^p)$ – площадь сосредоточенной емкости в p -й вершине (при отсутствии емкости $\Omega^p(z^p) = 0$).

2. *Связь между параметрами в вершине*

$$g^p(z^p, Q^p, t) = 0. \quad (5)$$

Например, $Q^p = 0$ – приток отсутствует; $Q^p = Q(t)$ – приток есть функция времени; $Q^p = -Q(z^p)$ – отток из вершины.

3. *Условия примыкания*

$$f^p(z_m^p, Q_m^p, t) = 0, \quad m \in \gamma^p. \quad (6)$$

Например, $z_m^p = z^p$ – простой подход к вершине; $z_m^p = \text{const}$ – поддерживается постоянный уровень с помощью гидротехнического сооружения.

В качестве начальных условий должны быть заданы

$$z_m(x, t_0), Q_m(x, t_0), \forall m; z^p(t_0), \forall p. \quad (7)$$

Заметим, что систему уравнений (1)–(2) при наличии достаточно резких изменений (редко встречающихся в реальных условиях, возникающих, например, при разрушении плотин) приходится записывать в дивергентном виде, что обеспечивает выполнение законов сохранения [2, 9]:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q, \quad (8)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[P + \frac{Q^2}{\omega} \right] = g\omega \left(i - \frac{Q|Q|}{K^2} \right) + R_x, \quad (9)$$

где $P(x, h) = g \int_0^h (h - \xi) b(x, \xi) d\xi$, $R_x(x, h) = g \int_0^h (h - \xi) \frac{\partial b(x, \xi)}{\partial x} d\xi$.

В качестве примера рассмотрим расчет неустановившегося течения на участке створа Новосибирской ГЭС (НГЭС) до с. Дубровино в летний период 2013 г.

Плотину НГЭС можно рассматривать как неподтопленный водослив. В этом случае расход, проходящий через гидроузел, определяется только параметрами верхнего бьефа. Поэтому, не уменьшая общности, можно считать, что в данном случае задан известный расход для начального створа нижнего бьефа

$$Q(0, t) = Q_{\text{ГЭС}}(t). \quad (10)$$

На всем протяжении рассматриваемого участка реки в нее впадают различные притоки, из которых самым крупным является р. Томь. Для притоков ставятся граничные условия, представляющие собой баланс расходов и равенство отметок водной поверхности в точке слияния. Последнее требование можно считать приемлемым, ввиду того что скорости течения невелики, и скоростными напорами можно пренебречь

$$z_i^j = z^j, \quad \sum_{i \in R^j} \eta_i^j Q_i^j = 0. \quad (11)$$

Наиболее сложным является граничное условие в конечном рассматриваемом створе, так как течение реки продолжается далее. Здесь принято задавать эмпирическую зависимость между расходом Q и отметкой водной поверхности z в данном створе (так называемая кривая связи)

$$F^j(Q^j, z^j) = 0, \quad (12)$$

где j – номер рассматриваемого створа.

Однако не всегда гарантировано наличие наблюдений в данном створе (отсутствие водомерного поста). В этом случае целесообразно задавать здесь так называемые безотражательные (их еще называют «мягкими») граничные условия, характеризующие постоянство приходящей со стороны нижнего бьефа информации. Такие условия в дифференциальной форме имеют вид [10]

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - (c + v) \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0. \quad (13)$$

Таким образом, все граничные условия для рассматриваемого участка сформулированы. Так как Обь относится к равнинным рекам, скорости течения здесь невелики, и поток всюду можно будет отнести к категории спокойного потока. Тогда постановку задачи можно считать корректной [5].

В качестве начальных данных можно рассматривать параметры установившегося режима, предшествующего прохождению волны паводка. Так как процесс прохождения паводка является плавно изменяющимся, в данном случае для расчета целесообразны неявные методы. В этом случае обычно используется хорошо себя зарекомендовавший метод Института гидродинамики [2]. Однако можно применить и более точные методы второго порядка. Например, на предварительном шаге осуществлять перенос значений параметров по характеристикам, а дивергентные соотношения (1) использовать в качестве корректора.

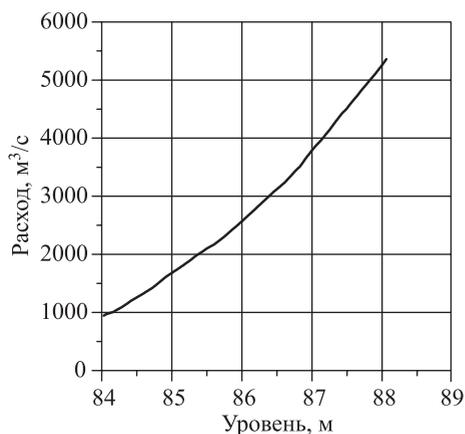


Рис. 1. Кривая связи для водомерного поста «с. Дубровино»

Начальные данные также взяты из гидрологического ежегодника. Для условий на выходе (с. Дубровино) построена кривая зависимости расхода от уровня (рис. 1). Результаты моделирования представлены на рис. 2.

Выполнен тестовый расчет с помощью программы «Stream» (реализующей неявный метод Института гидродинамики [2]) для расчета изменений параметров течения (отметок уровня и расходов) на участке верхней Оби от водомерного поста «Новосибирское водохранилище, нижний бьеф» до с. Дубровино.

Для тестовых расчетов выбран период с начала мая по начало сентября 2013 г. Коэффициент шероховатости русла принят равным 0,01. На входе русла (НГЭС) задается зависимость расхода от времени по данным гидрологического ежегодника.

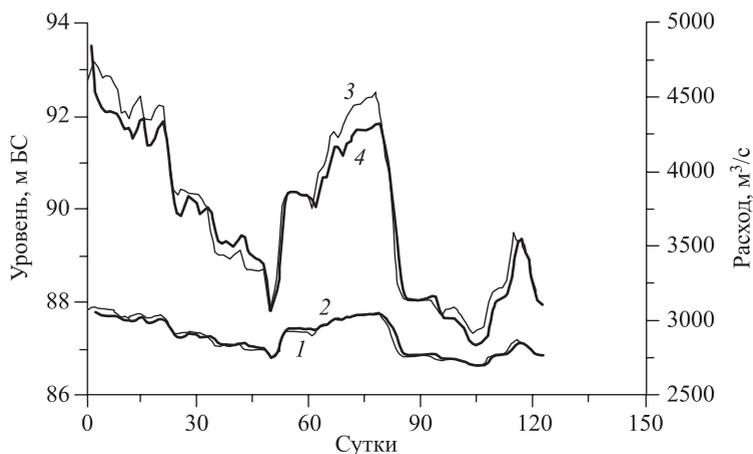


Рис. 2. Сравнение динамики уровней и расходов в с. Дубровино
1 – уровень, м БС, данные из ежегодника; 2 – уровень, результаты расчетов; 3 – расход, данные из ежегодника; 4 – расход, результаты расчетов

Сопоставление результатов расчета с натурными данными демонстрирует приемлемую степень согласования и подтверждает возможность использования предлагаемой постановки задачи и методики расчета распространения паводков на всем протяжении Оби от створа НГЭС до устья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев О.Ф., Годунов С.К., Притвиц Н.А., Темноева Т.А., Шугрин С.М., Фрязина И.Л. Численный метод расчета распространения длинных волн в открытых руслах и приложение его к задаче о паводке // Докл. Акад. наук СССР. 1963. Т. 151, № 3. С. 525–527.

2. Атавин А.А., Васильев О.Ф. Нестационарные задачи гидравлики открытых русел и судоходных сооружений // Механика сплошных сред. София: БАН, 1968. С. 75–82.
3. Атавин А.А. Расчет неустановившегося течения воды в разветвленных системах речных русел или каналов // Динамика сплошных сред. 1975. Вып. 22. С. 25–36.
4. Киселев П.Г. Гидравлика. М.: Энергия, 1980. 360 с.
5. Рождественский Б.Л., Яненко Н.Н. Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике. М.: Наука, 1968. 687 с.
6. Харари Ф. Теория графов. М.: Мир, 1978. 300 с.
7. Понтрягин Л.С. Основы комбинаторной топологии. М.: Наука, 1986. 118 с.
8. Воеводин А.Ф., Шугрин С.М. Методы решения одномерных эволюционных систем. Новосибирск: Наука, 1993. 368 с.
9. Атавин А.А., Гладышев М.Т., Шугрин С.М. О разрывных течениях в открытых руслах // Динамика сплошных сред. 1975. Вып. 22. С. 37–64.
10. Атавин А.А., Зиновьев А.Т., Кудишин А.В. Ледотермический режим нижнего бьефа Новосибирского гидроузла // Водные ресурсы. 2014. Т. 41, № 2. С.123–130.

Атавин Аркадий Анатольевич, канд. техн. наук, доц.
Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул
Овчинникова Тамара Эдвардовна, канд. физ.-мат. наук, доц.
Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул
Тарасевич Владимир Владимирович, д-р техн. наук, доц.
Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

Получено после доработки 26.03.18

Atavin Arcadiy Anatolievich, PhD, Ass. Professor
Institute for Water and Environment Problem of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia
Ovchinnikova Tamara Edwardovna, PhD, Ass. Professor
Institute for Water and Environment Problem of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia
Tarasevich Vladimir Vladimirovich, DSc, Ass. Professor
Institute for Water and Environment Problem of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia

CHOICE OF THE CALCULATION MODEL OF HIGH WATER AND FLOOD WAVES AT THE SECTION OF UPPER OB RIVER

The process of propagation and transformation of flood waves in the system of natural channels at the section of upper Ob is considered. The flow is described by one-dimensional Saint-Venant equations in divergent form. The boundary conditions for description of flow in specific points (the dam location, tributaries) are considered. The arguments for the choice of calculation method are given.

Key words: natural channel, high water, flood, wave, propagation.

REFERENCES

1. Vasiliev O.F., Godunov S.K., Pritvits N.A., Temnoeva T.A., Shugrin S.M., Fryazina I.L. Chislennyy metod rascheta rasprostraneniya dlinnykh voln v otkrytykh ruslakh i prilozhenie ego k zadache o pavodke [Numerical method for calculation of long waves propagation in the open channels and its application to the flood problem]. Dokl. Akad. Nauk SSSR [Reports of Academy of Sciences of the USSR]. 1963. Vol. 151, No. 3. Pp. 525–527. (in Russian)
2. Atavin A.A., Vasiliev O.F. Nestatsionarnye zadachi gidravliki otkrytykh rusel i sudokhodnykh sooruzheniy [Unsteady problems of hydraulics of open channels and navigable structures]. Mekhanika sploshnykh sred [Dynamics of solid medium]. Sofia, Bulgaria, BASc edition, 1968. Pp. 75–82.
3. Atavin A.A. Raschet neustanovivshegosya techeniya vody v razvetvlennykh sistemakh rechnykh rusel ili kanalov [Calculation of unsteady flows in the branching systems of channels]. Dinamika sploshnykh sred [Dynamics of solid medium]. 1975. Iss. 22. Pp. 25–36. (in Russian)
4. Kiselev P.G. Gidravlika [Hydraulics: the basis of fluid mechanics]. Moscow, Energiya, 1980. 360 p. (in Russian)
5. Rozhdestvenskiy B.L., Yanenko N.N. Sistemy kvazilineynykh uravneniy i ikh prilozheniya k gazovoy dinamike [Systems of quasi-linear equations and their applications to gas dynamics, Second edition]. Moscow, Nauka, 1968. 687 p. (in Russian)
6. Harary F. Teoriya grafov [Graph theory]. Moscow, Mir, 1978. 300 p. (in Russian)
7. Pontryagin L.S. Osnovy kombinatornoy topologii [Foundations of combinatorial topology]. Moscow, Nauka, 1986. 118 p. (in Russian)
8. Voevodin A.F., Shugrin S.M. Metody resheniya odnomernykh evolyutsionnykh system [The methods of solution one-dimensional evolutionary systems]. Novosibirsk, Nauka, 1993. 368 p. (in Russian)
9. Atavin A.A., Gladyshev M.T., Shugrin S.M. O razryvnykh techeniyakh v otkrytykh ruslakh [About breaking flows in open channels]. Dinamika sploshnykh sred [Dynamics of solid medium]. 1975. Iss. 22. Pp. 37–64. (in Russian)
10. Atavin A.A., Zinoviev A.T., Kudishin A.V. Ledotermicheskiy rezhim nizhnego b'efa Novosibirskogo gidrouzla [Ice-thermal regime of the downstream of Novosibirsk hydropower station]. Vodnye resursy [Water Resources]. 2014. Vol. 41, No. 2. Pp. 123–130. (in Russian)

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКОЛОГИИ



УДК 711. 554.004.68

Р.А. ДРОЖЖИН, Е.А. БЛАГИНЫХ

МЕТОДОЛОГИЯ И ОСОБЕННОСТИ РЕНОВАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОН В ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ГОРОДАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Анализируются и определяются пути эффективного механизма улучшения качества среды стагнирующих промышленных территорий в индустриальных городах Сибирского региона в сложившихся социально-экономических условиях. Разработан алгоритм реновации неиспользуемых и деградирующих промышленных территорий, перепрофилирование производственных процессов. Теоретические положения данного исследования прошли апробацию в стратегии развития стагнирующей территории крупного градообразующего предприятия юга Западной Сибири – Новокузнецкого металлургического комбината, по результатам составлены рекомендации по реализации процесса реновации промышленных зон в городской среде.

К л ю ч е в ы е с л о в а: промышленные зоны, реновация, перепрофилирование, индустриальный город.

Введение. Реновация урбанизированных территорий, промышленных зон на данный момент является больше трендом в развитии архитектуры, чем отдельно сформированным направлением. Одно из первых определений понятия «реновация» находим в «Советском энциклопедическом словаре»¹. Оно имеет общие смысловые рамки для применения в теоретических и практических работах [1]. Наличие похожих по смыслу и написанию терминов, таких как редевелопмент, рефункционализация и реконструкция вносят путаницу в их трактовку. Реновация в научной литературе не имеет однозначной трактовки, из этого следует потребность проведения анализа различных трактовок понятия реновации, введенных в оборот и употребляемых в контексте научных работ.

В европейских странах реновация существует как категория с составляющими: «санация» и «модернизация». В нашем законодательстве реновация, санация, модернизация как термины отсутствуют, но есть прописанное понятие «развитие застроенных территорий», которое пересекается с европейским определением реновации. В немецкой книге «Der Altbau», ставшей классикой для специалистов санации, реновации и модернизации, приводится такое определение: «реновация – это устранение серьезных дефектов,

¹ Советский энциклопедический словарь. М.: Сов. энцикл., 1986. С. 1119.

возникших вследствие старения или под воздействием осадков» (в том числе функциональное, моральное) [2].

Актуальность научной работы определяется потребностью формирования теоретической базы в области реновации, адаптации ее к практическому использованию в индустриальных городах Сибирского региона. Реновация промышленных зон этих городов дает возможность эффективно контролировать устойчивое развитие их пространственной среды. К сожалению, реновация промышленных зон осложнена рядом проблем. Общий анализ этих проблем дает возможность осмыслить структурную организацию города в условиях современного подхода к процессу реновации.

Цель исследования состоит в определении методов и выявлении особенностей при архитектурно-строительной реновации стагнирующих территорий промышленных зон с апробацией на примере индустриального города.

Основными задачами исследования являются:

- изучение проблематики процесса реновации промышленных зон;
- выявление факторов, влияющих на развитие процесса реновации;
- определение алгоритма анализа объекта реновации.

В качестве основы исследования были использованы научные труды В.Л. Глазычева, И.Г. Лежавы, К. Линча, Дж. Джекобс [3] и других специалистов в области градостроительства и архитектуры [4]. Градостроительные проблемы совершенствования территориального устройства города на основе непрерывного развития изложены в работах В.В. Владимирова, И.М. Смолляра, Е.Н. Перцик, Яна Гейла [5]. Понятийный аппарат рефункционализации, экологической топологии в архитектуре обоснован в научных трудах И.Ю. Шолнерчика, В.И. Иовлева. Практическое становление процессов реконструкции и реновации многих современных промышленных предприятий, а также база их научного обоснования выявлены в трудах ученых и крупнейших зодчих в области промышленной архитектуры Н.В. Алещенко, Н.С. Алферова, С.И. Демидова, С.В. Казакова, В.О. Кулиша, И.С. Николаева, Л.П. Холодовой.

Объектом данного исследования являются урбанизированные территории, промышленные зоны в индустриальных городах. Предмет исследования – методология и принципы реновации промышленных зон. Географические границы исследования совпадают с кадастровыми границами городских образований Российской Федерации. Хронологические границы исследования – XX–XXI вв.

Методика исследования включает определение исходных теоретических положений процесса реновации на основе сравнительного анализа и обобщения научных знаний; систематизацию отечественных и зарубежных теоретических исследований в области градостроительного планирования, строительства и реновации; графоаналитическую систематизацию материала. Исследование ведется на основе законов диалектического единства исторического и логического в комплексном анализе явления реновации.

Научная новизна исследования состоит в разработке системы теоретических положений и практических рекомендаций по формированию стратегий реновации стагнирующих промышленных зон в индустриальных городах южной части Западной Сибири.

Основная часть. В ходе исследования были выявлены особенности развития городской среды индустриальных городов. Так, при анализе планировочных схем и генеральных планов городов Кемеровской области (Кемерово, Новокузнецк, Прокопьевск, Междуреченск, Мыски и др.) выявилась следующая особенность: селитебные зоны находятся в окружении промышленных и коммунально-складских зон, имеют место и природные ограничения.

Проблемная эколого-градостроительная ситуация обусловлена в том числе:

– многолетней эксплуатацией угольного бассейна без учета последствий строительства и эксплуатации угледобывающих предприятий;

– концентрацией крупных предприятий химико-металлургического комплекса и тепловой энергетики, оказывающих крайне неблагоприятное воздействие на окружающую среду и создающих дискомфортные условия проживания населения;

– несовершенством городской среды основных поселений региона в связи с распространением угленосных территорий, чересполосным размещением промышленной и жилой застройки, наличием значительных по площади зон высокого загрязнения атмосферы, недостаточным и неэффективным развитием пассажирского транспорта.

Строительство, согласно генпланам этих городов, предлагается осуществлять на новых неосвоенных территориях в границах городского округа. Такое строительство является более дорогостоящим и трудоемким, помимо самих объектов требуются возведение дорог, прокладка сетей и коммуникаций. В нововозведенных районах будет слабо развита инфраструктура. Таким образом, закладываются фундаментальные ошибки в развитии города: увеличивается рыхлость городского пространства и продолжительность инженерных сетей, удлиняется дорожная сеть.

Основной целью разработки генерального плана является формирование долгосрочной стратегии градостроительного развития², обеспечивающей устойчивое социально-экономическое, пространственное и инфраструктурное развитие городской среды. В индустриальных городах территории, занятые промышленными зонами, зачастую служат основным резервом для развития городского пространства, но нуждаются в преобразовании и реновации [6].

Предложены методы преобразования деградирующих территорий промышленных зон, необходимые для достижения устойчивого развития городов (рис. 1).

Выполнена конкретизация каждого из методов реновации промышленных зон.

Преобразование в общественно-деловую, торговую, культурную зону. Суть метода заключается в полном или частичном перепрофилировании территории и находящихся на ней объектов. Внутреннее наполнение может видоизменяться частично или характер изменений может полностью преобразовывать реновируемое пространство. Бывшие производственные здания реконструируются под объекты торговли, а их административные

² Схема территориального планирования Кемеровской области. Утв. постановлением Коллегии Администрации Кемеровской области от 19 ноября 2009 г. № 458 (с изменениями на 12 марта 2018 г.).

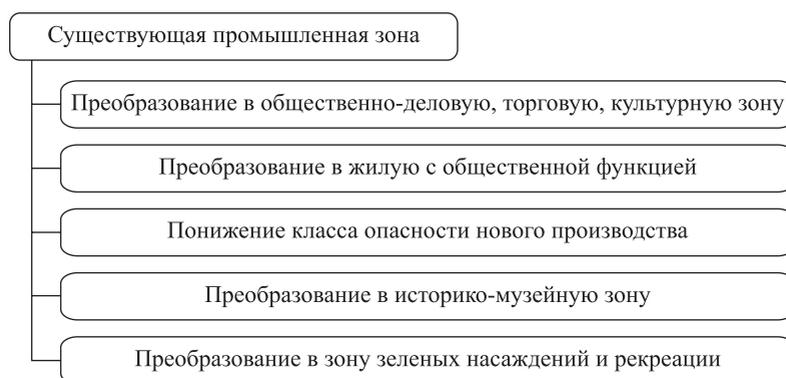


Рис. 1. Методы преобразования деградирующих территорий промышленных зон

блоки в офисные здания [7]. Удобное расположение около магистралей общегородского значения, вблизи остановок общественного транспорта, возможность привлечения большого количества людей делают эти территории и объекты коммерчески привлекательными для инвесторов и девелоперов.

Возможно также создание многофункциональных комплексов на уровне групп «жилье, работа, быт, торговля, рекреация» [8], как промежуточной ниши между промышленной зоной и центром города: менее развитым, но экономически более доступным, чем исторический центр.

В структуре индустриального сибирского города Новокузнецка такой вид реновации применили к части территории Металлургического комбината, вдоль ул. Хлебозаводская, где располагались открытые склады. В настоящее время земельные участки распроданы и девелопером ведется строительство «Ритейл парка». Планируется также строительство трех торговых центров.

Преобразование в жилую зону с общественной функцией. Промышленные предприятия разделяются на классы по степени вредности производств. Если производство относилось к низкой степени опасности, экологические показатели пригодны для постоянного нахождения человека, в этом случае возможна реновация под жилье. Такая практика широко распространена в странах Европы с ранним индустриальным развитием (Англия, Испания [9], Франция [10], Нидерланды, Германия) и Северной Америки (США, Канада [11]). На территории России подобные по качеству работы можно отметить в Москве.

Здания бывших производств, построенные из кирпича и бетона, имеют довольно высокие потолки, что позволяет создавать просторные апартаменты и многоуровневые квартиры – лофты. Такие помещения пользуются популярностью у предпринимателей и людей, занимающихся творчеством, желающих совмещать жилье и мастерскую. Часть зданий перепрофилируются под офисы, торговлю и обслуживание, рядом планируются апартаменты. В итоге получится плотный квартал с насыщенными функциями и с хорошей транспортной доступностью.

Возможен вариант реновации территории с новым строительством без сохранения существующих объектов. Например, на месте бывших складов

или открытых площадок после расчистки земли на высвободившейся территории можно построить небольшой жилой комплекс или даже квартал. Такие комплексы, включающие в себя развитую инфраструктуру с коммерческими предприятиями, спортивными залами, бассейнами, ресторанами, могут быть использованы под жилье разных классов, в том числе арендное (по типу «доходных домов»).

Понижение класса опасности нового производства. Реновация территории промышленных предприятий с высоким классом опасности является самой сложной. Здесь необходимо провести экологическое обследование территории, по заключению которого сделать выводы, в каком направлении выполнять проектирование. В соответствии с санитарной классификацией промышленных объектов и производств устанавливаются ориентировочные размеры санитарно-защитных зон (рис. 2).

Способ понижения класса опасности производства, несмотря на то что в промышленной зоне номинально остается производство, имеет свои преимущества. Фактически понижение класса опасности производства влечет за собой уменьшение санитарно-защитной зоны, улучшение экологической обстановки окружающей среды, возможность не менять разрешенное использование земельного участка, снижение издержек при строительстве новых инженерных сетей, привлечение инвесторов с новым высокотехнологичным производством.

На территории Новокузнецкого металлургического комбината (НКМК), расположенного в Центральном районе города, уже прослеживается тенденция отделения от основной промышленной зоны части земельных участков. На них располагаются здания и сооружения с развитой инфраструктурой, не используемые для основного производства. Это потенциальные участки и территории для запуска процесса реновации.

Преобразование в историко-музейную зону. Хорошим вариантом для повышения уровня культурной жизни города будет создание в здании бывшего цеха музея или выставочного зала с благоустройством прилегающей территории и организацией общественного пространства вокруг объекта. Здания цехов, построенные в начале XX в. из кирпича, часто имеют выразительные фасады. Их пластические и архитектурно-средовые решения способствуют выстраиванию взаимодействий с историческим контекстом городской среды (это здания-символы).

Индустриальные парки – сохранение части памятников индустриальной культуры в максимально сохраненном первоначальном историческом виде, организация музеев истории производства той отрасли, к которой принадлежало здание или сооружение (отраслевые музеи техники, музей истории производства). При создании индустриальных заповедников и музеефицирова-

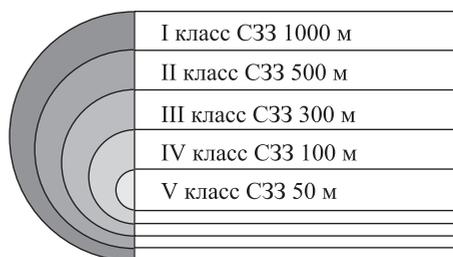


Рис. 2. Ориентировочные размеры санитарно-защитных зон в соответствии с санитарной классификацией производств

нии объектов сама индустриальная среда с наполнением и прилегающими территориями является экспонатом.

Возможно реконструировать события, технологии, традиционный уклад жизни данной промышленной территории. При сохранении уникального оборудования в структуре действующего предприятия экспозицией является процесс производства, оборудование. Так, на территории НКМК в концепции реновации доменной печи, построенной в 30-е гг. XX в., предлагалось устройство Музея стали.

Преобразование в зону зеленых насаждений и рекреации. Вариант озеленения части деградирующих территорий промышленных зон является наиболее эффективным и целесообразным.

Территории с зелеными насаждениями образуют буферные зоны между производством и селитебными районами, но от вредных выбросов предприятий с высоким классом опасности они не защитят. Подобные предприятия должны размещаться с учетом санитарно-защитной зоны. Зеленые насаждения создадут эффект ширмы, декорируя индустриальные пейзажи, улучшив при этом качество восприятия человеком окружающей среды.

Обычно к свалкам, полигонам ТБО, карьерам и отвалам применяется метод рекультивации. Рекультивация закрытых полигонов – это целый комплекс работ, он подразумевает два основных этапа: технический и биологический. Технический этап включает исследование состояния свалочного тела и его воздействия на окружающую природную среду, подготовку территории к последующему целевому использованию. Биологический этап рекультивации включает агротехнические и фитомелиоративные мероприятия, направленные на восстановление нарушенных земель, территорий закрытых полигонов для их дальнейшего целевого использования.

Рекультивация проводится по окончании стабилизации закрытых полигонов – процесса упрочнения свалочного грунта, достижения им постоянного устойчивого состояния. По окончании процесса стабилизации производится завоз грунта для перепланировки территории. Наиболее приемлемыми направлениями рекультивации для закрытых полигонов являются сельскохозяйственное, лесохозяйственное, рекреационное и строительное. Можно сделать вывод, что метод рекультивации применим к реновации для первичной подготовки нарушенной территории.

Основой для подбора самого эффективного из перечисленных методов реновации является анализ объекта реновации. Алгоритм для анализа максимально унифицирован (рис. 3), его можно использовать как по отношению к зданию или сооружению, так и к функциональной зоне в структуре города.

В основе анализа объекта лежит структурирование его по параметрам. Алгоритм разделяет процесс анализа на два крупных блока. Блок «окружение и инфраструктура» исследует внешние факторы, влияющие на объект, его расположение в структуре города. Блок «объект реновации» устанавливает внутренние факторы и состояние самого объекта. Основные выводы по результатам исследования по каждому блоку необходимо оформить в текстовом и графическом виде. На основании результатов осуществляются выбор



Рис. 3. Алгоритм анализа объекта реновации

метода реновации и подбор проектных решений, далее следует разработка проектного предложения.

Заключение. Процесс реновации промышленных зон представляет собой сложный и многоплановый комплекс проблем – социальных, экономических, строительных, инженерно-технических, градостроительных, экологических и эстетических, которые могут быть оптимально решены с помощью представленного исследования при условии внедрения рекомендаций в практику проектирования реновируемых объектов промышленной архитектуры.

Реализация такого комплексного проекта реновации промышленных зон позволит создать новую комфортную городскую среду на месте деградирующих территорий в индустриальных городах юга Западной Сибири.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Д р о ж ж и н Р.А. Основы понятия реновация в архитектуре // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Тр. Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. ред. М.Н. Темлянцева. Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. Вып. 20. Ч. IV. Естественные и технические науки. С. 10–16.
2. Х а р и ч е в а Е.Я. «Реновация» массового жилья в Прибалтийском регионе (Германия, Польша, Эстония, Латвия, Литва, Россия) // Дом Бурганова. Пространство культуры. 2012. № 3. С. 17–30.
3. Д ж е й к о б с Дж. Смерть и жизнь больших американских городов / пер. с англ. М.: Новое изд-во (Б-ка свободы), 2015. 512 с.

4. Кудрявцев А.П. Деятельность РААСН по развитию фундаментальных исследований в области архитектуры, градостроительства и строительства: Итоги и перспективы // Пром. и гражд. стр-во. 2012. № 5.
5. Olsson Stefan, Malmqvist Tove, Glaumann Mauritz. Managing sustainability aspects in renovation processes: Interview study and outline of a process model // Journal sustainability. 2015. No. 7. P. 6336–6352; doi: 10.3390/su7066336.
6. Быстрова Т.Ю. Реабилитация промышленных территорий городов: Теоретические предпосылки, проектные направления (Ч. 2) // Академ. вестн. УралНИИ-проект РААСН. 2013. № 4. С. 21–26.
7. Хуе Chunlu, Zheng Xinqi, Zhang Bo et al. Evolution of a multidimensional architectural landscape under urban regeneration: A case study of Jinan, China // Ecological Indicators. 2015. Vol. 55, Aug. P. 12–22.
8. Жуковский Р.С. Архитектура застройки общественно-деловых субцентров городов как фактор их устойчивого развития // АРХИТЕКТОН: Известия вузов. 2017. № 2. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29655257&>
9. Del Pozo P.B., Vizcaino F.D. Strategies renovation of industrial neighborhood in Spanish medium-sized cities. The experience of Leon // Scripta nova-revista electronica de geografia y ciencias sociales. 2017. Vol. 2, Iss. 560. P. 1–28.
10. Garnett N.S. Old Suburbs Meets New Urbanism // Notre Dame Law School NDLScholarship. 2015. Vol. 1512. P. 1–23.
11. Grant J.L. New urbanism developments in Canada: A survey // Journal of Urbanism. 2008. № 1. P. 109–127.

Дрожжин Роман Александрович, асп.

Сибирский государственный индустриальный университет, архитектурно-строительный институт, г. Новокузнецк

Благиных Елена Анатольевна, канд. архитектуры, доц.;

E-mail: elenablagnyh@mail.ru

Сибирский государственный индустриальный университет, архитектурно-строительный институт, г. Новокузнецк

Получено после доработки 26.03.18

Drozhzhin Roman Aleksandrovich, Post-graduate Student

Siberian State Industrial University, Architecture and Construction Institute, Novokuznetsk, Russia

Blagnyh Elena Anatolyevna, PhD, Ass. Professor; E-mail: elenablagnyh@mail.ru

Siberian State Industrial University, Architecture and Construction Institute, Novokuznetsk, Russia

METHODOLOGY AND CHARACTERISTICS OF THE RENOVATION OF INDUSTRIAL ZONES IN THE INDUSTRIAL CITIES OF THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

Ways of effective mechanism of improvement of quality of the environment of stagnating industrial territories in the industrial cities of the Siberian region in the developed social and economic conditions are analyzed and determined. The algorithm of renovation of unused and degraded industrial territories, reprofiling of production processes is developed. The theoretical positions of this research have been tested in the development strategy of the stagnant territory of a large city – forming enterprise in the South of Western Siberia –

Novokuznetsk metallurgical combine, the results of recommendations on the implementation of the process of renovation of industrial zones in the urban environment.

Key words: industrial zones, renovation, re-profiling, industrial city.

REFERENCES

1. D r o z h z h i n R.A. Osnovy ponyatiya renovatsiya v arkhitekture [Fundamentals of the concept of renovation in architecture]. Nauka i molodezh': problemy, poiski, resheniya [Science and youth: problems, searches, solutions: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists]. Novokuznetsk, 2016. Vol. 20. P. IV: Natural and technical sciences. Pp. 10–16. (in Russian)
2. K h a r i c h e v a E.Ya. “Renovatsiya” massovogo zhil'ya v Pribaltiyskom regione (Germaniya, Pol'sha, Estoniya, Latviya, Litva, Rossiya) [“Renovation” of mass housing in the Baltic region (Germany, Poland, Estonia, Latvia, Lithuania, Russia)]. Dom Burganova. Prostranstvo kul'tury [Burganov's House. The space of culture]. 2012. No. 3. Pp. 17–30. (in Russian)
3. J a c o b s J. Smert' i zhizn' bol'shikh amerikanskikh gorodov [Death and the life of large American cities]. Moscow, 2015. 512 p. (in Russian)
4. K u d r y a v t s e v A.P. Deyatel'nost' RAASN po razvitiyu fundamental'nykh issledovaniy v oblasti arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'stva: Itogi i perspektivy [The activities of RAASN on the development of fundamental research in the field of architecture, urban development and construction: results and prospects]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. 2012. No. 5. (in Russian)
5. O l s s o n Stefan, M a l m g v i s t Tove, G l a u m a n n Mauritz. Managing Sustain-ability Aspects in Renovation Processes: Interview and Modeling. Journal Sustainability. 2015, No. 7. Pp. 6336–6352; doi: 10.3390 / su7066336.
6. B y s t r o v a T.Yu. Reabilitatsiya promyshlennykh territoriy gorodov: Teoreticheskie predposylki, proektnye napravleniya (Ch. 2) [Rehabilitation of industrial areas of cities: theoretical assumptions, design directions (Part 2)]. Akademicheskii vestnik UralNIIproekt RAASN [Academic Bulletin UralNIIproekt RAACN]. 2015. No. 4. Pp. 21–26. (in Russian)
7. X u e C h u n l u, Z h e n g X i n q i, Z h a n g B o et al. Evolution of a multidimensional architectural landscape under urban regeneration: A case study of Jinan, China. Ecological Indicators. 2015. Vol. 55, Aug. Pp. 12–22.
8. Z h u k o v s k i y R.S. Arkhitektura zastroyki obshchestvenno-delovykh subtsentrov gorodov kak faktor ikh ustoychivogo razvitiya [Architecture of development of public-business sub-centers of cities as a factor of their sustainable development]. ARCHITECTON: Journal of high schools. 2017. No. 2. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29655257&>
9. D e l P o z o P.B., V i z c a i n o F.D. Strategies renovation of industrial neighbourhood in Spanish medium-sized cities. The experience of Leon. Scripta nova-revista electronica de geografia y ciencias so-ciales. 2017. Vol. 2, Iss. 560. Pp. 1–28.
10. G a r n e t t N.S. Old Suburbs Meets New Urbanism. Notre Dame Law School NDLScholarship. 2015. Vol. 1512. Pp. 1–23.
11. G r a n t J.L. New Urbanism Developments in Canada: A Survey. Journal of Urbanism. 2008. No. 1. Pp. 109–127.

УДК 711.4–168 (477.75)

Д.А. ИЛЬИЧЕВА

АНАЛИЗ ПРОЕКТНЫХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ ПОСЛЕ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ И ИХ ПРИМЕНИМОСТЬ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДА

Севастополь – уникальный по своей природной специфике и истории город. В XX в. после полного разрушения в Великой Отечественной войне он был заново восстановлен в кратчайшие сроки. Проект его реконструкции является уникальным событием для мировой архитектуры и градостроительства. В статье приводится анализ различных проектных предложений прошлых лет, показано их влияние на сегодняшний день, когда город переживает бурный рост строительства и развития экономики. На основе этого анализа в статье выявлены аспекты, важные для дальнейшего развития города, создания новых объектов. Также показаны эскизы проектных предложений Г.Б. Бархина, полученные музеем МАРХИ из личного архива А.Г. Бархиной, которые ранее не публиковались.

К л ю ч е в ы е с л о в а: реконструкция, история, конкурс, проектные предложения, Севастополь, архитектура, развитие города, застройка.

Город Севастополь, основанный в 1783 г. как военно-морская база Черноморского флота России, давно перерос эти рамки. Сегодня – это крупнейший незамерзающий торговый и рыбный порт, промышленный, научно-технический, рекреационный и культурно-исторический центр Крыма [1]. Памятники и обелиски Севастополя – это летопись города, который за свою небольшую историю превратился в настоящий символ преемственности истории и культуры, ведь еще в античные времена на его территории существовали крупные греческие поселения, такие как Херсонес [2]. Город пережил две разрушительные войны (Крымская и Великая Отечественная), после которых он практически восстанавливался с нуля [3]. После освобождения Севастополя в 1944 г. правительство слабо верило в возможность восстановления города на историческом месте, были даже предложения о возможности оставить пепелище нетронутым, как глобальный памятник разрушений Второй мировой войны. Но предложение было отвергнуто, и в 1945 г. он был включен в число городов, восстановление которых правительство финансировало в первую очередь.

Город был восстановлен в кратчайшие сроки – в 1957 г. проект реконструкции был полностью завершен. Холодная война между США и СССР диктовала новые требования: в городе началось строительство противоатомных бункеров, узлов связи и командных пунктов. В 1960-е гг. наряду с военной экономикой начала развиваться и гражданская. Население росло крайне

быстро. Площадь городской застройки также значительно увеличилась. Однако подобный бурный рост негативно отразился на качестве архитектуры. Новая застройка велась почти исключительно типовыми домами, не учитывающими специфику юга и уникальности Севастополя. Переломным моментом в истории города явились 90-е гг. XX в. С распадом СССР промышленность оказалась парализована, флот был разделен между Россией и Украиной. В 1999 г. после почти десятилетнего спада начался экономический рост Севастополя.

Практически все последние 20 лет вопросам архитектурного облика и застройки города уделялось крайне мало внимания [4]. В 2005 г. правительством Украины было принято решение по демилитаризации города и о его развитии с основным упором на курортную функцию по типу Ялты. Однако данная концепция оказалась ошибочной. По заказу Агентства стратегического развития Севастополя новую концепцию разработали НИПИ Генплана г. Москвы и проектные институты «Гипрогор» и «Урбаника». В 2015 г. была утверждена новая концепция развития города на 20 лет. В настоящее время Севастополь развивается крайне активно особенно в сфере туризма, для которой имеется большой природный и исторический потенциал, но крайне недостаточен объем предлагаемых услуг и мест для проживания гостей.

Для того чтобы найти верные пути развития архитектуры Севастополя, создающей полноценный ансамбль, необходимо проанализировать историю проектных предложений по развитию генпланов города [5]. Наиболее показательным и интересным является конкурс проектов на реконструкцию Севастополя после Великой Отечественной войны. Прежде чем рассмотреть конкурсные проекты, стоит упомянуть, что еще в 1933 г. началась разработка проекта реконструкции Севастополя и его сельскохозяйственной зоны, рассчитанного на 20 лет [6]. Бригаду проектировщиков возглавил архитектор М.И. Долгополов. По разрабатываемому проекту планировался рост населения города до 120 тыс. человек, а также промышленности и судостроения. Проект предполагал:

- развитие города вдоль моря в сторону Херсонеса;
- Корабельная сторона – единый плотный массив из многоэтажных жилых и общественных зданий;
- Северная сторона – территория под санатории, пляжи и дома отдыха;
- большое количество зелени во всем городе, например, проект создавал три масштабных парка – на Историческом бульваре, в Комсомольской (Ушаковой) балке и на берегу моря между Артиллерийской и Карантинной бухтами (из них успели разбить только один на Историческом бульваре, но идея зеленого берега между Артиллерийской и Карантинной бухтами была внесена в генеральный план Севастополя 1975 г.);
- функциональное деление территории города (Инкерман и Балаклава – промышленная зона, Южная и Корабельная сторона – жилая, Северная сторона – зона отдыха. Значительный недостаток данного деления – удаленность зон друг от друга).

Это был первый генеральный план города в его современном понимании. Он являлся комплексным проектом, имеющим прогнозы развития города на последующие двадцать лет, и решения, основанные на расчетах потребностей города в трудовых ресурсах, роста населения и промышленности [7]. План не был реализован из-за начавшейся войны, но многие его принципы и предложения отразились в дальнейших разработках.

Конкурс на реконструкцию разрушенного Севастополя начался в 1943 г., когда город еще был оккупирован. Одним из основных требований к проектам являлось сохранение в Севастополе главной базы Черноморского флота России [8]. В конкурсе участвовали проектные предложения архитекторов М.Я. Гинзбурга, Г.Б. Бархина, В.М. Артюхова и Ю.А. Траутмана, Л.М. Полякова, Н.С. Богданова.

Наиболее сильная конкуренция была между проектами М.Я. Гинзбурга и Г.Б. Бархина. По предложению действительного члена Академии архитектуры СССР М.Я. Гинзбурга город значительно менял свою историческую планировку, планировку основных улиц и площадей. В разработанном плане имелся ряд достоинств, таких как, например, большое количество зелени и парков, просторные улицы и проспекты. Главным же недостатком предложения М.Я. Гинзбурга являлось то, что центр города и направление его развития переносились на Южную сторону, что в будущем привело бы к уходу города от его основного достоинства и жизненного центра – моря и бухт. Данный минус стал решающим в предпочтении правительством проекта Г.Б. Бархина.

В процессе предварительных проектных работ, произведенных членом-корреспондентом Академии архитектуры СССР профессором Г.Б. Бархиным и архитекторами М.Г. и Б.Г. Бархиными на месте, выяснилось, что общественные и жилые здания, в том числе построенные еще до Крымской войны, несмотря на значительные повреждения, представляют большую историческую, материальную и архитектурную ценность [9]. Частично сохранились подземные инженерные сети и сооружения – магистральные водопроводы и система канализационных коллекторов, проложенных из-за сложного рельефа глубоко под землей.

Г.Б. Бархиным планировалось незначительное территориальное расширение Севастополя, в основном в юго-западном направлении вдоль моря и бухт. Учитывая наличие старых и создание новых промышленных предприятий, жилищное строительство предполагалось также в районе Куликова поля, на Корабельной стороне, за Малаховым курганом, на Северной стороне, в районах Балаклавы и Инкермана (Белокаменска).

Центр города оставался на историческом месте – от Приморского бульвара до площади Ушакова и от Южной бухты до Одесского оврага. Однако территория центра увеличивалась в 3 раза за счет продвижения на запад вдоль бухт Хрустальной, Александровской, Мартыновой и до улицы Шестой Бастионной, на юг по улице Гоголя до бывшей Сенной площади, включая Исторический бульвар и площадь у железнодорожного вокзала. Город был разделен на 13 планировочных районов, основываясь на местах тяготения жилья к промышленным предприятиям. Было определено место для про-



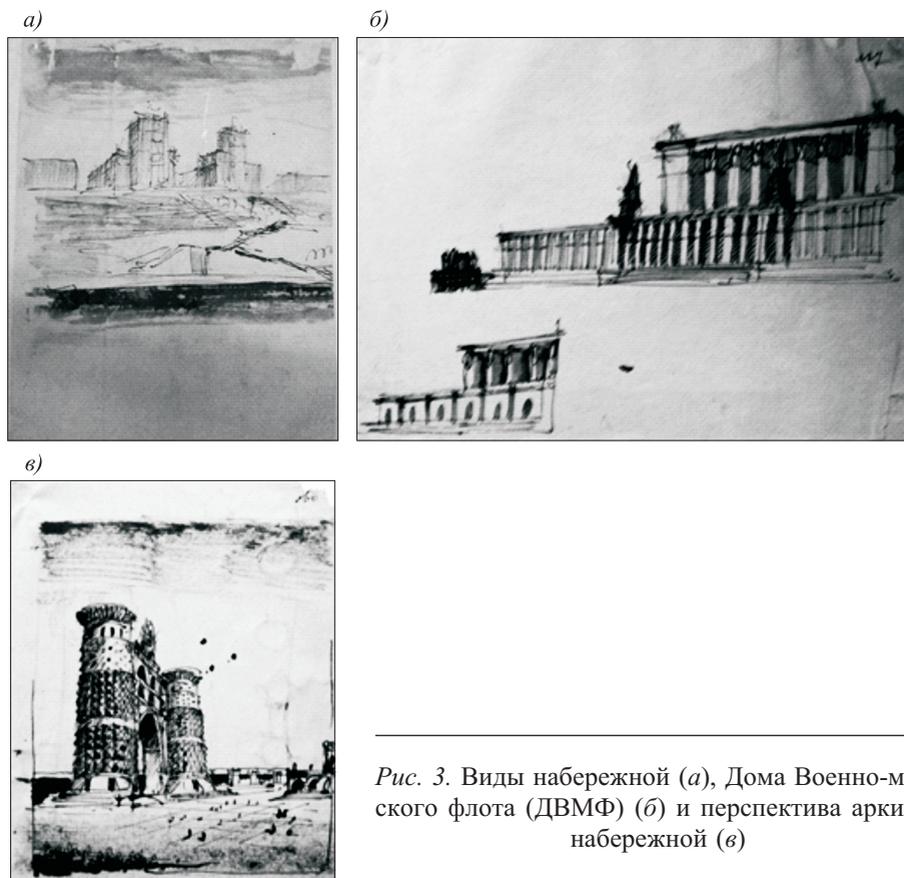
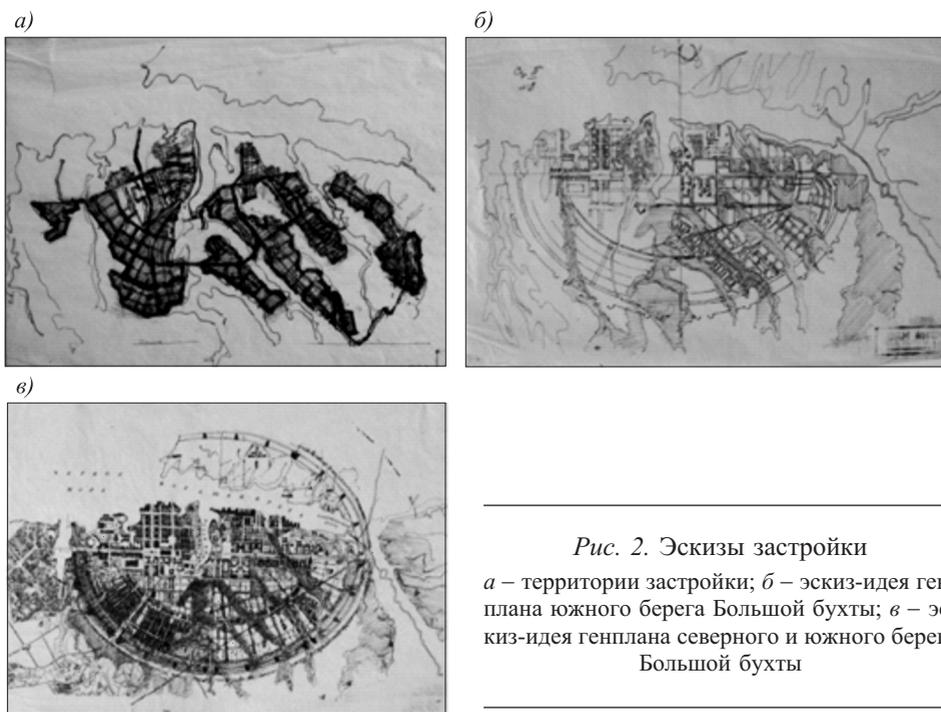
Рис. 1. Схемы решения районов застройки, вариант 1 (а) и вариант 2 (б)

мышленности и складов (главной являлась зона между Балаклавским шоссе и Карантинной балкой) (рис. 1).

Бригадой Г.Б. Бархина было последовательно предложено три варианта генерального плана. Каждый из последующих отличался от предыдущего, но во всех развивались идеи, изначально предложенные проектировщиками (рис. 2) [10]:

- основное значение города – главная военно-морская база Черноморского флота;
- жесткая привязка плана города к линиям инженерных коммуникаций, линиям городской сетки улиц, идущим к базам ВМФ и промышленным предприятиям;
- рациональное использование ландшафта и рельефа местности.

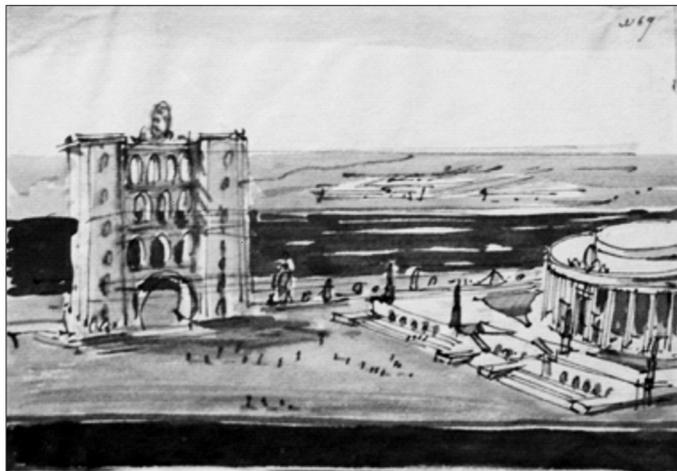
В вопросе архитектурно-планировочных решений проект вносил принципиальные предложения – раскрытие главных улиц центра у моря (рис. 3, а) и максимальное озеленение как самого города, так и его пригородов, что решало одновременно две основные задачи: создание дополни-



тельного рекреационно-оздоровительного потенциала и выполнение оборонительно-маскировочных задач. Предлагалось продолжение традиций архитектуры античных городов, когда-то существовавших в Причерноморье (рис. 3, б, в; 4).

На первых эскизах проекта видна композиция «идеального города» в виде огромного овала, пределами которого ограничена вся развивающаяся система. Выбор Г.Б. Бархина в пользу овальной формы города можно объяснить тем, что с самого основания Севастополя складывалась радиальная схема магистралей, идущих от центрального городского кольца на периферию. Все радиальные магистрали должны были быть реконструированы и расширены (улицы Генерала Петрова, Адмирала Октябрьского, Горпищенко, Лабораторное шоссе). Шире должны были стать и центральные улицы: Ленина, Большая Морская, проспект Нахимова – на 8–12 м. Планировалось увеличить территорию главных площадей центра – Революции, Нахимова, Ушакова. Во всех вариантах автор сохранил основную мысль о необходимости связи трех ранее разобщенных, разрезанных глубокими бухтами, частей

а)



б)

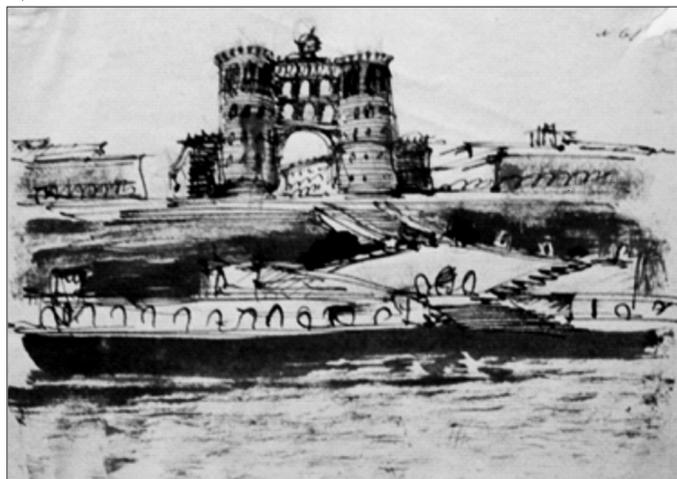


Рис. 4. Виды набережной, ДВМФ (а) и арки (б) (разработка)

города: Юго-Западную, Северную и Корабельную. Изначально Г.Б. Бархин хотел также сделать овальную оборонительную стену, однако впоследствии он от этого отказался. На плане прослеживаются оси симметрии, на Юго-Восточной части – преобладание лучевых диагоналей, а на Западной – система сетки. Развиваются зеленые бульвары и кварталы.

В последующих эскизах Г.Б. Бархин упрощает форму овала до ломаных линий, которые продолжают повторять округлую форму, но сам план становится более «прямоугольным» (рис. 5, а).

Продолжением и развитием градостроительных традиций являлось стремление к максимальному раскрытию застройки в сторону моря и бухт (рис. 5, з). Это обеспечивалось системой террасирования по склонам холмов и односторонней застройкой главных улиц, прилегающих к бухтам (проспект Нахимова, набережная Корнилова, улица Ленина), сносом разрушенных строений со стороны акватории и разбивкой на этих местах новых скверов и бульваров. По такому же принципу реконструировались и главные площади – Нагорная (ныне Ленина), Нахимова, Ушакова. По предложению Г.Б. Бархина основные магистрали и бульвары, оставаясь на исторически сложившемся месте, образовывали петлю вокруг центрального холма, смыкающуюся в двух главных планировочных узлах: на площади Парадов – на мысе, глубоко вдающемся в море, и на площади Коммуны, связанной с Историческим бульваром. Эти бульвары и улицы существуют в Севастополе и сейчас, не изменив своего расположения. По проекту Г.Б. Бархина город создавался с большим столичным размахом. Кроме того, в архитектуру вводились галереи, аркады, лоджии, затеняющие козырьки и перголы, которые отвечают специфике климата и облика южного города (рис. 5, б, в).

В финальном проекте Г.Б. Бархина были освобождены берега бухт от застройки промышленными и портовыми сооружениями, центром являлся протяженный холм, идущий от мыса Приморского бульвара до Малахова кургана, охваченный кольцом проспекта Нахимова, улиц Ленина и Большой Морской. На пересечении основных магистралей образовались площади Ушакова, Нахимова, Революции, застраивалась и Северная сторона.

Продолжая рассматривать этот конкурс, стоит отметить серьезную конкуренцию между Г.Б. Бархиным и местными архитекторами, такими как Ю.А. Траутман, который являлся последователем довоенного главного архитектора Севастополя Г. Ломагина, и именно Ю.А. Траутман доказал жюри конкурса, что, несмотря на проработанность и масштабность проектных предложений московских архитекторов (М.Я. Гинзбург и Г.Б. Бархин), их проекты не учитывают в полной мере ни историю Севастополя, ни нужды местного населения. Ю.А. Траутман доказывал экономическую и моральную выгоду при условии максимального учета местных традиций и сохранения истории. Его проект был больше проектом восстановления и реставрации города, нежели реконструкции. Основной упор он делал на первоочередность восстановления жилого фонда. Ю.А. Траутман большее значение придавал уникальным историческим особенностям города. Предложения местного архитектора связывали проект с событиями дореволюционной и советской России, а Г.Б. Бархин рассматривал город больше как памятник Великой Отечественной войне. Наиболее показательным в «борьбе» Г.Б. Бархина и Ю.А. Траутмана являются споры о Владимирском кафедральном соборе.

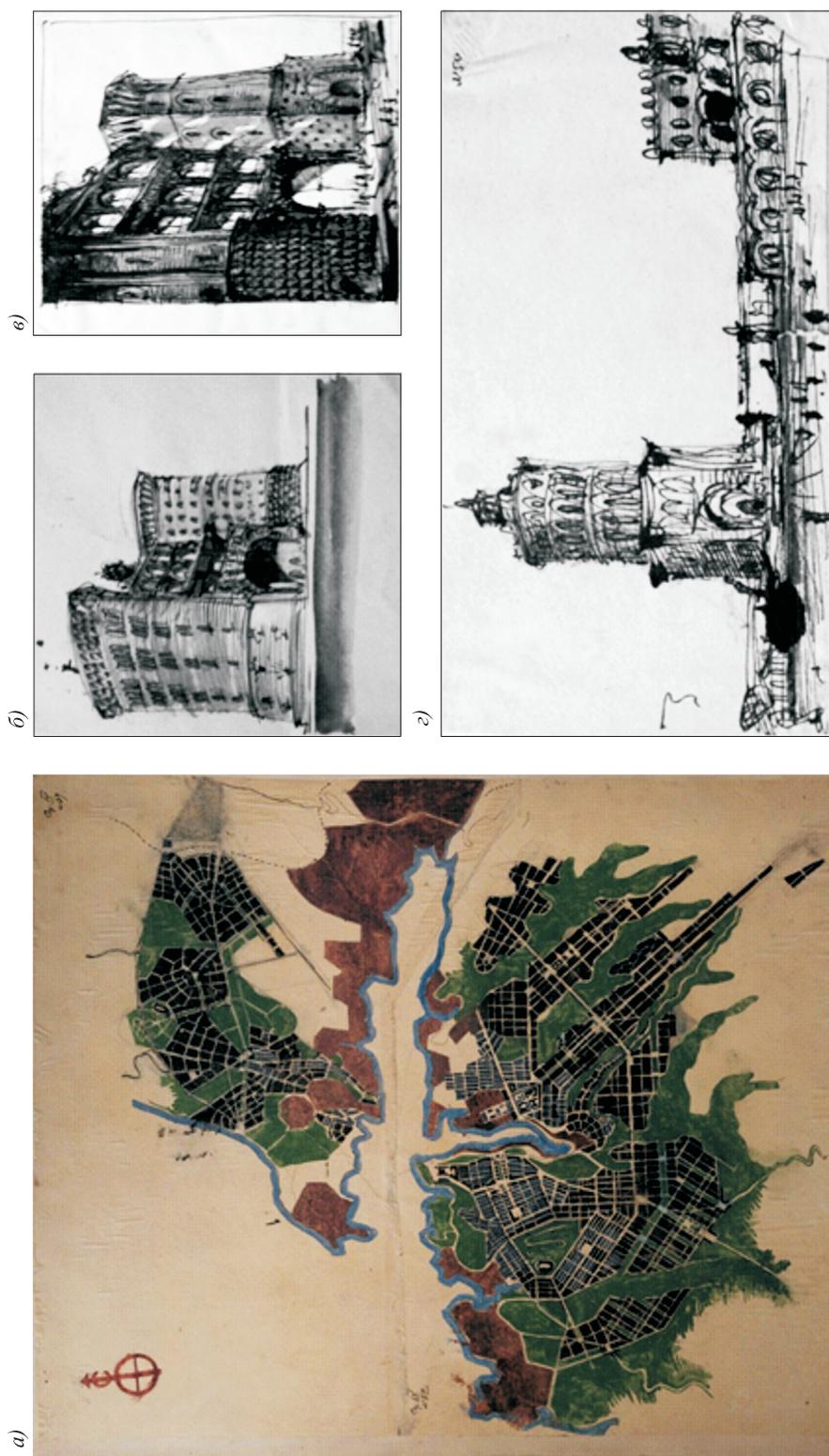


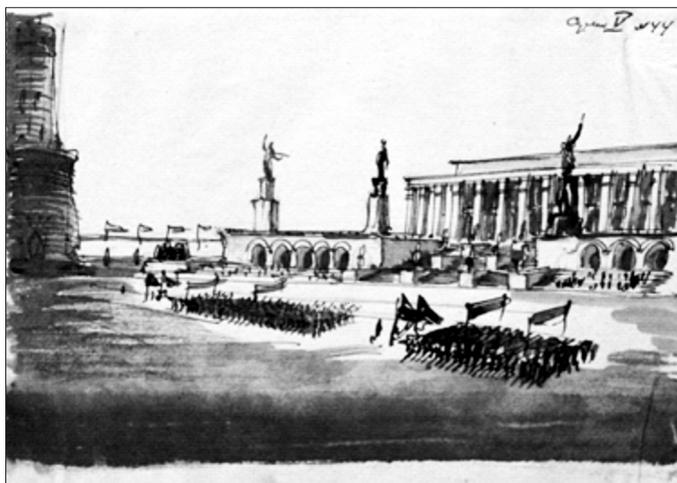
Рис. 5. Генеральный план города с решением горизонтальных коммуникаций, зонирование территории
а – ситуационный план; б–в – эскизы триумфальной арки; г – вид набережной, ДВМФ и арки

Г.Б. Бархин предлагал снести все сооружения на центральной возвышенности, включая Владимирский собор, чтобы освободить пространство для нового военно-морского ансамбля, при том что крипты Владимирского собора хранили останки четырех величайших военачальников Крымской войны, а сам собор был одним из символов города (рис. 6). Правительство отказалось от идеи Г.Б. Бархина, поскольку нельзя было заново писать историю города без упоминания о значимой для сознания жителей Севастополя Крымской войне.

В итоге было принято предложение местных архитекторов Ю.А. Траутмана, Г. Ломагина. При этом главные идеи Г.Б. Бархина тем не менее были использованы:

- развита историческая структура города с образованием полукольцевой магистрали, связывающей районы нового жилого строительства;
- запроектирована большая магистраль за пределами селитебной части города;

а)



б)

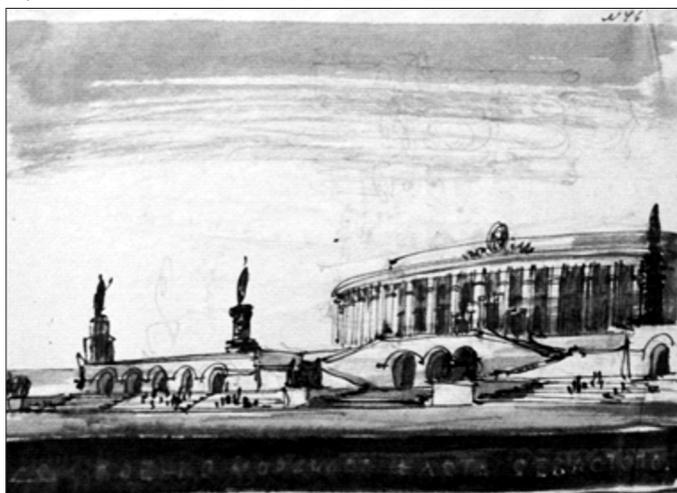


Рис. 6. Виды набережной (а) и ДМВФ (б)

– раскрыта застройка со стороны моря, частично применена односторонняя застройка с «морской» стороны склонов холмов, организованы линии скверов и парков вдоль набережных;

– раскрытие доминирующих в застройке отдельных зданий и комплексов получило наиболее четкое завершение на главной площади Нагорной с памятниками Нахимову и Ушакову, со зданием Матросского клуба и гостиницей «Украина»;

– застройку центра на фоне жилых зданий формируют уникальные здания – Драматический театр им. Луначарского, гостиница «Севастополь», административное здание для флота и такое же сооружение для города.

Подводя итог, стоит выделить основные результаты анализа проектных предложений по восстановлению Севастополя после Великой Отечественной войны, важные для современных архитектурно-планировочных решений.

Из предложений Ю.А. Траутмана необходимо перенять его бережное отношение к уникальной истории города, его военной славе, остаткам древних античных поселений на его территории, а также учет им особенности традиций жизни и потребностей местного населения. Из плана Г.Б. Бархина следует учесть в вопросе архитектурно-эстетических решений специфику юга, творческое переосмысление античных принципов приморской архитектуры, которые издавна существовали на берегах Причерноморья, большее использование террасированной застройки по склонам, включение в объем зданий галерей, террас и балконов [11]. Особо важным в проекте Г.Б. Бархина для развития Севастополя является ориентация города к морю и к бухтам, важность и целостность морского фасада, вывод промышленных и складских объектов с центральных бухт и первых береговых линий, что поможет создать целостный архитектурный облик города, максимально продемонстрировать его специфику.

Выражаю благодарность музею Московского архитектурного института и лично директору Л.И. Ивановой-Везн за предоставленный иллюстративный материал, который был передан музею А.Г. Бархиной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. На й да С.В. История города-героя Севастополя, 1783–1917. Т. 1. Киев: Изд-во Акад. наук УССР, 1960. С. 180.
2. М и х а й л о в а М.Б. Государственная власть и архитектурно-градостроительное творчество на юге России периода классицизма // Архитектура в истории русской культуры. Вып. 4: Власть и творчество / Отв. ред. И.А. Бондаренко. М., 1999. С. 107–112.
3. Д е н и с о в А.П., П е р е ч н е в Ю.Г. Русская береговая артиллерия. М.: Воениздат, 1956. С. 81–121.
4. Б е л о б р о д с к а я А.Е., Б е з д е т н а я Н.Т., Б о л о т о в а И.Б., Е в д о к и м о в а И.Н., И в а н о в а Л.В., Т а л и м о н о в Г.А. Севастополь в цифрах в 2014 году: Стат. сб. Севастополь, 2015.
5. J e n c k s С., К r o p f К. Theories and manifestoes of contemporary architecture. Great Britain, Academy editions, 1977. P. 172–174.
6. В е н и к е е в Е.В. Архитектура Севастополя. Симферополь: Таврия, 1983. С. 98–123.

7. Новиков А.А., Новикова А.М. Физико-географические и социально-экономические аспекты формирования функциональных зон г. Севастополя // Геополитика и экогеодинамика регионов / Крым. федер. ун-т им. В.И. Вернадского. Симферополь, 2014. Т. 10, № 2. С. 675–680.
8. Артюхов В.М., Баглей А.И. Лицом к морю // Возрождение Севастополя: Сб. Симферополь, 1982. С. 41–56.
9. Ильичёва Д.А., Щербак ова М.А. Бархины – педагоги МАИ и авторы послевоенной реконструкции Севастополя: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Наука, образование и экспериментальное проектирование». М., 2013. С. 432.
10. Бархина А.Г. Г.Б. Бархин. Мастера архитектуры. М.: Стройиздат, 1981. С. 106–120.
11. Иконников А.В. Пространство и форма в архитектуре и градостроительстве. М.: КомКнига, 2006. С. 89.

Ильичева Дарья Александровна, асп.

Московский архитектурный институт (государственная академия)

Получено 28.03.18

Ilicheva Daria Alexandrovna, Post-graduate Student
Moscow Architectural Institute (State Academy), Russia

ANALYSIS OF THE PROJECTS FOR THE CITY OF SEVASTOPOL RECONSTRUCTION AFTER THE SECOND WORLD WAR AND THEIR USE FOR MODERN CITY DEVELOPMENT

Sevastopol is an unique city, because of its own natural specifics and great history. The twentieth century is the most significant in the history of the city: Sevastopol was rebuilt in the shortest time after the total destruction during the Second World War. The project of reconstruction of the city after the Second World War is a unique event for world architecture and urban planning. The article analyzes the various projects proposals of past years and shows their impact to date, when the city is experiencing a rapid growth in construction and development of the economy. The article identifies aspects that are important in nowadays for the further development of the city, for creating new objects in the city. Also, there are in the article sketches of project proposals made by G. Barkhin, received by the Moscow Architectural Museum from the personal archive of A. Barkhina. The proposals had not been ever published before.

К e y w o r d s: reconstruction, history, competition, project proposals, Sevastopol, architecture, city development, building development.

REFERENCES

1. N a j d a S.V. Istoriya goroda-geroya Sevastopolya, 1783–1917. T. 1 [The history of the hero city Sevastopol, 1783–1917. B. 1]. Kiev, 1960. P. 180. (in Russian)
2. M i h a j l o v a M.B. Gosudarstvennaya vlast' i arkhitekturno-gradostroitel'noe tvorchestvo na yuge Rossii perioda klassitsizma [State power and architectural and urban planning creativity in the south of Russia of the period of classicism]. Arkhitektura v istorii russkoy kul'tury [Architecture in the history of the Russian culture]. Moscow, 1999. Pp. 107–112. (in Russian)

3. Denisov A.P., Perechnev Yu.G. Russkaya beregovaya artilleriya [Russian Coastal Artillery]. Moscow, 1956. Pp. 81–121. (in Russian)
4. Belobrodskaya A.E., Bezdetnaya N.T., Bolotova I.B., Evdokimova I.N., Ivanova L.V., Talimonov G.A. Sevastopol' v tsifrakh v 2014 godu. Statisticheskiy sbornik [Sevastopol in figures in 2014. Statistical collection]. Sevastopol', 2015. (in Russian)
5. Jencks C., Kropf K. Theories and manifestoes of contemporary architecture. Great Britain, Academy editions, 1977. Pp. 172–174.
6. Venikeev E.V. Arkhitektura Sevastopolya [Architecture of Sevastopol]. Simferopol', 1983. Pp. 98–123. (in Russian)
7. Novikov A.A., Novikova A.M. Fiziko-geograficheskie i sotsial'no-ekonomicheskie aspekty formirovaniya funktsional'nykh zon g. Sevastopolya [Physical-geographical and socio-economic aspects of the formation of functional zones of Sevastopol]. Geopolitika i ekogeodinamika regionov [Geopolitics and ecogeodynamics of regions]. Simferopol', 2014. T. 10, No. 2. Pp. 675–680. (in Russian)
8. Artyukhov V.M., Baglej A.I. Litsom k moryu [Facing the sea]. Vozrozhdenie Sevastopolya [Revival of Sevastopol]. Simferopol', 1982. Pp. 41–56. (in Russian)
9. Il'icheva D.A., Shcherbakova M.A. Barhiny – pedagogi MAI i avtory poslevoennoy rekonstruktsii Sevastopolya [Barhiny are the teachers of MAI and the authors of the post-war reconstruction of Sevastopol]. Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe proektirovanie [Science, education and experimental design]. Moscow, 2013. P. 432. (in Russian)
10. Barkhina A.G. G.B. Barkhin. Mastera arkhitektury [G.B. Barhin. Masters of architecture]. Moscow, Stroyizdat, 1981. Pp. 106–120. (in Russian)
11. Ikonnikov A.V. Prostranstvo i forma v arkhitekture i gradostroitel'stve [Space and form in architecture and urban planning]. Moscow, 2006. P. 89. (in Russian)

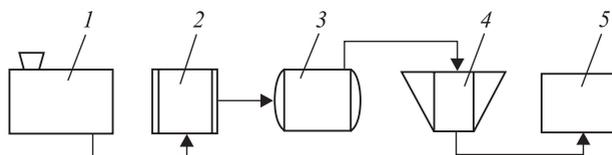
СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПВХ

В настоящее время вопросы вторичной переработки отходов из пластмасс, в частности отходов поливинилхлорида (ПВХ), имеют важное техническое, социальное и экологическое значение; проблема переработки отходов полимерных материалов актуальна не только с позиций охраны окружающей среды, но и связана с тем, что в условиях дефицита полимерного сырья пластмассовые отходы становятся мощным сырьевым и энергетическим ресурсом.

В Тихоокеанском государственном университете разработан способ переработки отходов ПВХ. Изобретение относится к области переработки вторичного сырья и может быть использовано на предприятиях перерабатывающих пластмассы и их отходы. Производственный процесс состоит из нескольких этапов:

- приемка (с помощью приемочного бункера);
- сортировка;
- дробление;
- смешивание в экструдере;
- формование изделия.

В приемочный бункер поступают предварительно спрессованные отходы различной формы и затем производится их сортировка и дробление (рисунк).



Устройство для переработки ПВХ

1 – приемочный бункер; 2 – зона сортировки; 3 – зона дробления;
4 – зона смешивания; 5 – зона формирования готового изделия

Так как чистый поливинилхлорид без стабилизаторов и пластификаторов начинает выделять хлороводород уже при нагреве до 100 °С, на этапе смешивания отходов в экструдер подаются добавки – стабилизаторы, например, стеараты бария и кадмия, которые создают условия для выделения хлора из расплава под контролем при нагревании до температуры 200–240 °С. Процесс контроля выделения хлора осуществляется дозированной струей воздуха от вентилятора. Выделенный хлор собирают в емкости. В зоне формирования отливаются готовые изделия с заданными размерами и требуемой формой.

Предлагаемый способ является высокопроизводительным и надежным в работе по сравнению с аналогами за счет использования добавок-стабилизаторов для обеспечения высокотемпературной обработки ПВХ.

На разработку получен патент.

Разработчики:

Еренков Олег Юрьевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: erenkov@list.ru

Еренкова Дарья Дмитриевна, студ.; E-mail: erenkov@list.ru

Яворский Даниил Олегович, студ.; E-mail: erenkov@list.ru

680035, Россия, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136,

Тихоокеанский государственный университет

Сайт: pnu.edu.ru

Тел.: +7(4212) 76 85 17 (добавочный 2620); 8 800 250 80 10

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«СТРОИТЕЛЬСТВО»

Издается с марта 1958 г.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, вступивший в силу с 1 декабря 2015 г.; входит в международную базу данных CA(pt) (Chemical Abstracts).

В журнале публикуются статьи, содержащие новые результаты научных исследований теоретического и прикладного характера, обзорные статьи по состоянию, научным проблемам и перспективам развития теории архитектуры, строительных наук и строительной отрасли, рецензии на книги, научно-техническая информация. Авторы и читатели журнала – научно-педагогические работники, аспиранты, студенты старших курсов строительных вузов, сотрудники научно-исследовательских и проектных институтов, строительных организаций и предприятий.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ ЖУРНАЛА:

- Теория сооружений
- Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания и фундаменты
- Строительные материалы и изделия
- Инженерные системы жизнеобеспечения населенных мест, зданий и сооружений. Экологическая безопасность строительства
- Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология
- Технология и организация строительства
- Научные проблемы архитектуры, градостроительства и экологии
- Научно-методический раздел
- В лабораториях вузов
- Достижения науки – производству
- Научно-техническая информация

Принимается подписка
на 1-е полугодие по каталогу «Роспечать» 2018 г.

Каталожная цена за 6 месяцев – 4200 р.
Цена отдельного номера – 700 р.

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Общая информация о журнале и полнотекстовые версии номеров журнала, начиная с 2003 года, размещены на Internet-странице по адресу <http://izvuzstr.sibstrin.ru>

Для оформления научных статей по требованиям ВАК, РИНЦ, Scopus размещены

«ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ, ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И РЕДАКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ».

В н и м а н и е!

1. Объем аннотации – не менее 800 знаков (75 слов и более), максимум 1200 знаков.
2. Библиографический список должен включать не менее десяти источников.
3. Составление библиографического списка на английском языке (REFERENCES):
 - для ссылок на зарубежные источники на латинице – с сохранением оригинального описания;
 - для ссылок на русскоязычные источники – транслитерированные с русских букв на латинские символы (по системе BGN) фамилии и инициалы всех авторов; название статьи; затем в квадратных скобках – название статьи в переводе на английский язык; остальные элементы библиографического описания на английском языке, с исключением разделителей /, – , //, и заменой №, с. и С. соответственно на No., p. и Pp., в конце – (in Russian).

Примеры оформления текста статей и REFERENCES – в рубрике «полнотекстовые версии статей».

Редакция имеет право на редакционную обработку статьи. Для контакта с редактором просим сообщать номер мобильного телефона одного из авторов (не для опубликования).

Журнал публикует информацию о научно-технических разработках в области строительства объемом 1 с., включая 1–2 иллюстрации. Обязательны сведения о разработчиках: фамилия, имя, отчество полностью; звания; контактная информация, место работы.

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО**

№ 4 (712) 2018

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Н.И. Коновалова*
Технический редактор *Н.М. Макаренко*
Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*
Корректор *Г.И. Шведкина*

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 27.04.18. Формат 70×108 $\frac{1}{16}$
Усл. печ. л. 10,15+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 2525

ООО «Партнеры Сибири»,
630009, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 16