

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РФ

МЕЖДУНАРОДНАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ СОДЕЙСТВИЯ РАЗВИТИЮ
СТРОИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

СТРОИТЕЛЬСТВО

№ 7 (715)

Июль 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. Бальзанников, 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., МАДИ (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. Гайсбауэр, д-р – инж., Институт аэрогазодинамики, Университет Штутгарт, 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. Игнатьев, д-р техн. наук, проф., ВГТУ, Волгоград
А.М. Карапулов, д-р техн. наук, проф., СГУПС, Новосибирск
В.И. Колчунов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., ЮЗГУ, Курск
В.И. Костиц, 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. Нуужинов, 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. Сколубович, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск
И.С. Соболь, 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
М.В. Шитикова, д-р физ.-мат. наук, проф., ВГТУ, Воронеж

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

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2018

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

Демьянов А.И., Наумов Н.В., Колчунов Вл.И. Методика определения параметров деформирования и трещиностойкости железобетонных составных конструкций, испытывающих кручение с изгибом	5
Краснощеков Ю.В. Обобщенная модель расчета прочности железобетонных элементов при поперечном изгибе	17
Жилкин В.А. Численное исследование деформированного состояния цилиндрического нагеля в симметричном двухсрезном соединении пластин из древесины	31

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Жжоных А.М. Низковакуумные теплоизоляционные панели на основе отходов алюминиевого производства	43
---	----

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

Зиганшин А.М., Батрова К.Э., Гимадиева Г.А. Численное определение характеристик течения через последнее боковое отверстие в воздуховоде	53
---	----

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКОЛОГИИ

Кривошапко С.Н. Оболочки вращения неканонических форм	66
Субботин О.С. Градостроительные особенности планировочной структуры Краснодара	80
Смольянинова Т.А., Крадин Н.П. Особенности архитектуры российско-советского консульства в районе Новый город г. Харбина	88

В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

Блажнов А.А. О возможности снижения конвективных теплопотерь в ангарных теплицах	100
--	-----

ДОСТИЖЕНИЯ НАУКИ – ПРОИЗВОДСТВУ

Сколубович Ю.Л., Войтов Е.Л., Волков Д.Д., Гогина Е.С. Применение гипохлорита натрия для обеззараживания природных вод с повышенным содержанием органических соединений	105
---	-----

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. 7 (715)

July 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
M.V. Shitikova, DSc (Physics and Math), Prof., Voronezh, Russia

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

- Dem'yanov A.I., Naumov N.V., Kolchunov V.I.** The method of defining deformation parameters and crack resistance of composite reinforced concrete constructions under the action torsion with bending 5

- Krasnoshchekov Yu.V.** A generalized model for calculating the strength reinforced concrete elements under transverse bending 17

- Zhilkin V.A.** Numerical study of the deformed conditions of cylindrical nagel in symmetric two-sad connection of plates from wood 31

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

- Zhzhonykh A.M.** Based low vacuum heat insulating panels on aluminum manufacturing wastes basis 43

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

- Ziganshin A.M., Batrova K.E., Gimadieva G.A.** Numerical determination of flow characteristics through the last lateral opening in the air duct 53

SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE, TOWN PLANNING AND ECOLOGY

- Krivoshapko S.N.** Shells of revolution of non-trivial forms 66

- Subbotin O.S.** Town planning peculiarities of the planning structure of Krasnodar 80

- Smol'yaninova T.A., Kradin N.P.** Features of the architecture of the russian-soviet consulate in the New city area of Harbin 88

IN HIGHER SCOOOL LABS

- Blazhnov A.A.** On the possibility of reducing convective heat loss in the hangar greenhouses 100

REDUCTION OF ADVANCES IN SCIENCE TO PRACTICE

- Skolubovich Yu.L., Voytov E.L., Volkov D.D., Gogina E.S.** Application of sodium hypochlorite for disinfection of natural water with high containing of organic compounds 105

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ



УДК 624.012.45

А.И. ДЕМЬЯНОВ, Н.В. НАУМОВ, ВЛ.И. КОЛЧУНОВ

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СОСТАВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ИСПЫТЫВАЮЩИХ КРУЧЕНИЕ С ИЗГИБОМ

Представлена методика, расчетные модели и алгоритм расчета параметров деформирования и трещиностойкости железобетонных составных конструкций, испытывающих кручение с изгибом. В основу предложенной классификации дискретных трещин положены: метод декомпозиции, геометрическая, силовая и межсередовая (контакт разных бетонов) концентрация напряженно-деформированного состояния. Предложены расчетные модели различных уровней, с полной картиной трещин и их проекций на плоскость в виде функции многих переменных, с соответствующими расчетными сечениями для определения напряженно-деформированного состояния которых привлекаются возможности современных программных комплексов. Расчетная модель деформирования сложнонапряженных железобетонных конструкций позволяет учитывать эффект нарушения сплошности бетона, несовместность деформаций бетона и арматуры, межсередовое возмущение в шве контакта между бетонами. При этом ширина раскрытия трещин определяется вдоль всего профиля трещины при учете уровня изменения расстояния между ними.

Ключевые слова: железобетон, составные конструкции, пространственные трещины, жесткость, классификация трещин, эффект нарушения сплошности, ширина раскрытия трещин, алгоритм расчета, проекция, блочная модель.

Номенклатура железобетонных конструкций постоянно увеличивается и совершенствуется, а сборно-монолитные и сборные конструкции составного и слоистого сечения занимают в ней все больший объем. В связи с этим развитие методов расчета жесткости и трещиностойкости таких конструкций, работающих с трещинами, для оценки их эксплуатационных параметров с позиций предельных состояний второй группы и для более строгого определения внутренних усилий в случаях, когда эти усилия напрямую зависят от жесткости, является актуальной задачей [1–5].

Проведенный анализ научных публикаций последних двух десятилетий показывает, что к настоящему времени разработаны несколько моделей трещинообразования железобетона, которые пригодны для использования в программных комплексах. Можно отметить модель Z.P. Bazanta [6], модель W.M. Ostachowicza [7] с использованием эквивалентного шарнира между

конечными элементами, модель Е.Н. Морозова [8] с привлечением изопараметрических конечных элементов, модель С.Л. Цыфансского [9], модель С.М. Ермаковой [10] с привлечением дополнительных конечных элементов и др. Тем не менее отмеченные и другие применяемые расчетные модели деформирования железобетона применительно к сложнонапряженным составным конструкциям [5, 11–13] остаются недостаточно разработанными. До настоящего времени в действующих нормативных документах по проектированию железобетонных конструкций отсутствуют конкретные рекомендации по нормированию параметров взаимных сдвигов старого и нового бетонов в зонах, прилегающих к шву их контакта; не учтены эффекты, связанные с нарушением сплошности бетона при трещинообразовании, и другие важные закономерности развития и раскрытия трещин. Поэтому проведение исследований по разработке методики расчета жесткости железобетонных составных конструкций при кручении с изгибом с учетом различных типов пространственных трещин является одной из актуальных задач современной теории железобетона.

Моделирование пространственных трещин для определения жесткости составных конструкций при сложном сопротивлении включает следующие базовые положения.

Развитие пространственных трещин осуществляется по специальным билинейным поверхностям. Для этого, зная уравнение билинейной поверхности в параметрической форме [14], вписывается в значение угловых точек поперечно-го сечения железобетонной конструкции, т.е. уравнение билинейной поверхности конкретизируется применительно к заданному поперечному сечению:

$$[x_k; y_k; z_k] = [x_A; y_A; z_A] \cdot (1-u_k) \cdot (1-w_k) + [x_B; y_B; z_B] \cdot (1-u_k) \cdot w_k + [x_C; y_C; z_C] \cdot u_k \cdot (1-w_k) + [x_D; y_D; z_D] \cdot u_k \cdot w_k. \quad (1)$$

Вводится следующая *классификация дискретных базовых пространственных трещин* в железобетонных составных конструкциях (рис. 1):

1) базовые трещины, которые развиваются к зонам или из зон концентрации силового и деформационного нагружения (места расположения опорных

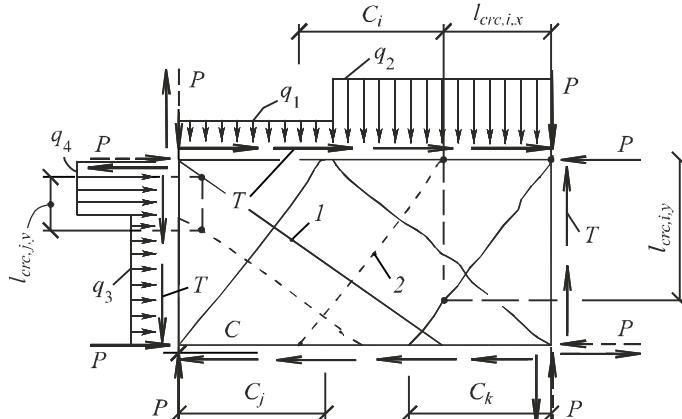


Рис. 1. Схема базовых и смежных спиралеобразных трещин в железобетонных конструкциях при кручении с изгибом, полученных в результате наложения геометрической и силовой концентрации (вид сбоку)

1 – базовые трещины; 2 – смежные трещины

реакций и сосредоточенных сил P (моментов), – места изменения интенсивности нагрузки q_i по контуру конструкции, места деформационного нагружения от просадок основания; особое значение имеет вид нагружения – изгиб, кручение, сдвиг, сжатие – растяжение);

2) базовые трещины, которые развиваются к зонам или из зон геометрической концентрации напряженно-деформированного состояния (в местах изменения размеров поперечных сечений, во входящих углах, в зонах некруглых отверстий и т.п.);

3) базовые трещины, которые развиваются в зонах межсредовой концентрации деформаций (в швах между бетонами в железобетонных составных конструкциях; в зонах заанкеривания вдоль продольной арматуры и т.п.).

При этом трещины, относящиеся к пунктам 1–3, дополнительно разделяются на три типа в зависимости от условий их образования и пересечения рабочей арматуры при их развитии:

– пересекающие продольную и поперечную арматуру, образующиеся на нижней или боковой грани, где $M > M_{crc}$, $M_t > M_{t,crc}$ и $Q \leq Q_{crc}$, – первый тип (M , T , Q – изгибающий, крутящий моменты и поперечная сила соответственно);

– пересекающие только поперечную арматуру, образующиеся в произвольной точке конструкции или шва, где $M < M_{crc}$, $M_t > M_{crc}$ и $Q > Q_{crc}$, и прилегающие своей вершиной к сосредоточенной силе, к местам изменения интенсивности распределенной нагрузки по контуру конструкции, к местам деформационного нагружения или к зонам геометрической концентрации, – второй тип;

– пересекающие только поперечную арматуру, образующиеся в произвольной точке конструкции или шва, где $M < M_{crc}$, $M_t < M_{t,crc}$, $Q > Q_{crc}$, и не прилегающие своей вершиной к силовым, деформационным, геометрическим или межсредовым концентраторам, которые могут выходить в любую точку верхней или боковой сжатой грани железобетонной пространственной конструкции или распространяться в межсредовом шве, – третий тип.

В практике эксплуатации конструкций (например, в сложных инженерно-геологических условиях) наиболее часто встречаются схемы силового и деформационного нагружения, которые, как правило, вызывают наложение разных типов трещин.

Уместно заметить, что, опираясь на базовые трещины, схема дискретных трещин может быть уточнена путем нанесения смежных трещин (рис. 1), которые определяются с привлечением деформационного критерия их образования. Образование последующего уровня пространственных трещин осуществляется после достижения растянутыми волокнами бетона в произвольной точке конструкции или вдоль осей рабочей арматуры (продольной или поперечной) своих предельных деформаций $\varepsilon_{bt,u}$. Уровней трещинообразования может быть несколько.

Аналитические зависимости для определения пространственных трещин первого, второго и третьего типа и длины проекции их на рассматриваемую ось C_i базируются на построении функций многих переменных с использованием множителей Лагранжа $F_{1,2} = f(q_{sw}, x_B, \sigma_s, x, \sigma_b, \sigma_{s,I}, \sigma_{b,1}, C_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7)$ и $F_3 = f(q_{sw}, x_{B,2}, \sigma_{s,3}, c_2, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$ соответственно,

вытекающих из условия экстремума этих функций – равенств нулю их частных производных [1, 4–6, 15].

На этой основе получена общая формула вида

$$(k'_1 k'_2 k'_{21} + k'_1 k'_{21} + k'_1 k'_{23}) C_2^2 + C_2 + k'_1 k'_{22} - k'_1 k'_2 k'_{21} = 0. \quad (2)$$

Параметры k'_1 , k'_2 , k'_{21} – k'_{23} зависят от геометрических характеристик конструкций, механических характеристик бетона и арматуры, параметров сцепления, параметров напряженно-деформированного состояния расчетных сечений.

Учитывая, что на сегодняшний день конечно-элементный анализ железобетона при расчете железобетонных конструкций с учетом их нелинейного деформирования достиг достаточно высокого уровня, в программных комплексах имеется возможность наиболее полного учета образования, характера развития и раскрытия трещин. В частности, в расчетных железобетонных конструкциях с трещинами целесообразно использование пространственных или плосконапряженных [15] конечных элементов (рис. 2, *a*, *b*).

При моделировании сложнонапряженных железобетонных конструкций с помощью объемных конечных элементов пространственные трещины – поверхности аппроксимируются вписываемыми в них параллелепипедами (рис. 2, *a*). Суть предлагаемой модели трещин состоит в том, что после замены действительной трещины описываемой формулой (1) моделью в виде вписанных в нее ступенчатых пространственных конечных элементов эти элементы «расшиваются», моделируя трещину, а раскрытие трещины задается в виде деформационного воздействия (рис. 2, *b*) $\Delta = a_{crc,j}$.

При учете эффекта нарушение сплошности [5, 16–18] выполняется с помощью введения в расчетную модель переменной ширины раскрытия трещины в зависимости от ее удаления от оси продольной или поперечной рабочей арматуры. Пример задания или определения численных значений ширины раскрытия трещин показан на рис. 2, *c*.

Распределенное армирование в таком элементе заменяется двумя (для плоской модели) и четырьмя (для пространственной модели) стержневыми конечными элементами в каждом взаимно перпендикулярном направлении соответственно.

При решении обратной задачи [2, 3] – определения ширины раскрытия трещин, деформационное воздействие не задается, а с помощью расшивки моделируется лишь наличие *самой трещины* минимально возможной ширины, а ее раскрытие при соответствующем нагружении определяется как расхождение берегов.

Возможен и другой вариант моделирования дискретных трещин, рассмотренный в работах [2, 3]. Его применение целесообразно в том случае, когда перенумерация узлов расчетной схемы железобетонной конструкции, связанная с необходимостью «расшивки», нежелательна. В этом случае конечные элементы не «расшиваются» вдоль всей трещины, а на первом этапе моделирования дискретных трещин используются так называемые мнимые дискретные трещины.

Развитие этих трещин прогнозируется по введенной классификации трещин применительно к конкретному расчету. На втором этапе моделирования трещин вдоль траектории мнимой трещины выделяются пары конечных элементов, при-

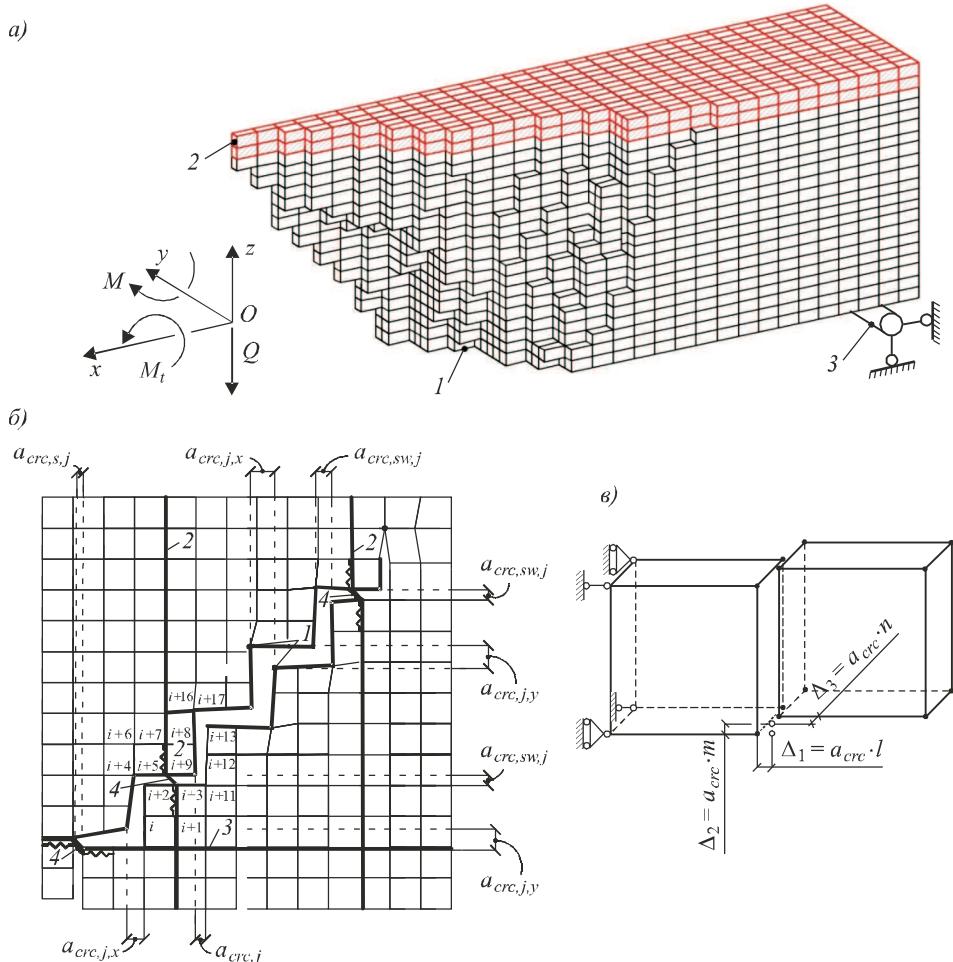


Рис. 2. Предлагаемая модель трещин в сложнонапряженном (а) и плосконапряженном (б) состояниях с учетом деформационного воздействия (в)

1 – трещина; 2 – поперечная арматура и ее моделирование с помощью 201 КЭ; 3 – продольная арматура и ее моделирование с помощью 201 КЭ; 4 – возможное закрытие трещины и его моделирование с помощью 255 КЭ; деформационное воздействие $\Delta_1 = a_{crc} \cdot l$; $\Delta_2 = a_{crc} \cdot m$; $\Delta_3 = a_{crc} \cdot n$

легающих к такой трещине с противоположных сторон [2]. Эти пары рассматриваются в двух состояниях: до их «расшивки» и после их «расшивки».

Перемещения узлов конструкции определяются из расчета двухэлементной расчетной модели с заданными в ее узлах нагрузками (узловыми усилиями). При этом опорные закрепления двух узлов в плоской модели и четырех узлов в пространственной модели (чередующимися шарнирно-неподвижными и шарнирно-подвижными опорами) в целях усреднения необходимо задавать с учетом вариаций: слева – справа, спереди – сзади, снизу – сверху. Важным является и то, что наряду с узловыми нагрузками в двухэлементной модели задаются еще и деформационные воздействия, связанные с шириной раскрытия трещины. Задание деформационного воздействия выполняется в каждом узле (кроме опорных) по трем направлениям в соответствии с рис. 2, в, где l , m и n – направляющие косинусы главного вектора раскрытия трещины в той или иной ее точке к осям x , y и z соответственно.

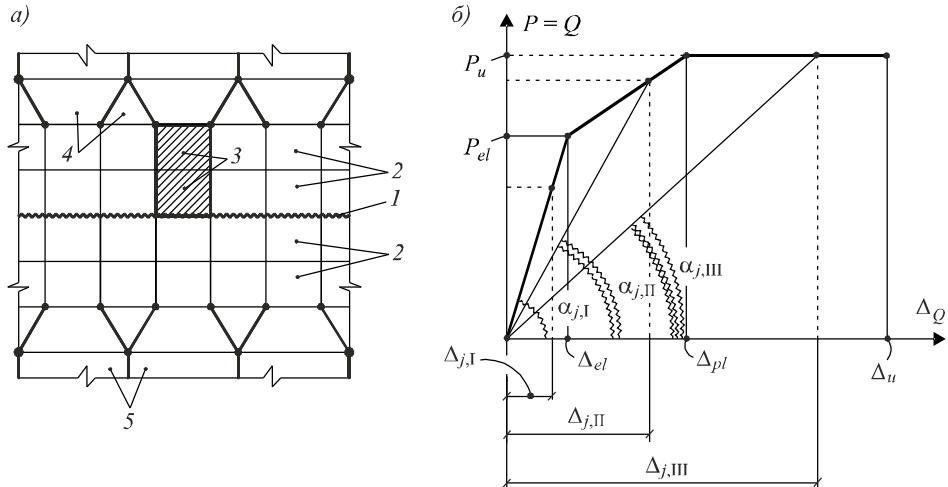


Рис. 3. К моделированию шва между бетонами: схема распределения мелкоразмерных конечных элементов (а) и диаграмма нагрузка – сдвиг ($Q - \Delta_Q$), полученная экспериментально (при $\mu(\lambda)_I = 0,2; \mu(\lambda)_{II} = 0,35; \mu(\lambda)_{III} = 0,5$) (б)

1 – шов контакта; 2, 4 – мелкоразмерные и переходные конечные элементы в зоне контакта соответственно; 3 – специальные пары – консоли конечных элементов, прилегающих к шву с противоположных сторон; 5 – крупноразмерные конечные элементы, удаленные от шва

Применительно к составным железобетонным конструкциям для моделирования напряженно-деформированного состояния зоны контакта между бетонами в расчетную схему вводится не менее двух слоев конечных элементов уменьшенных размеров с каждой стороны шва (рис. 3, а). При этом выделяются специальные пары – консоли конечных элементов, прилегающих уже не к трещине с противоположных сторон, а к шву (позиция 3 на рис. 3, а).

Для определения в этих конечных элементах модуля сдвига, модуля деформаций и коэффициента поперечных деформаций используются опытные зависимости «нагрузка–сдвиг» ($Q - \Delta_Q$), полученные испытаниями призм на сдвиг по контакту между разными бетонами, в том числе при наличии в них армирования (рис. 3, б).

В сложнонапряженных железобетонных конструкциях, в том числе составных, наблюдается многоуровневый процесс образования и развития разных типов пространственных трещин [14]. Моделирование этого процесса может быть выполнено с использованием представительных объемов в виде призм железобетонных, включающих бетон и арматурные стержни (рис. 4). Размеры призм принимаются соизмеримыми с расстоянием между поперечными арматурными стержнями. Такие представительные железобетонные объемы – уровневые модели позволяют определять расстояния между трещинами и ширину их раскрытия (рис. 4, б). Особенностью таких расчетных уровневых моделей применительно к составным железобетонным конструкциям является наличие шва.

Связь между деформациями растянутого бетона вдоль оси поперечной арматуры $\varepsilon_{bt}(y)$ и деформациями поперечной арматуры $\varepsilon_{sw}(y)$ в общем виде определяется по формуле

$$\varepsilon_{bt}(y) = \varepsilon_{sw} \cdot E_{sw} \cdot A_{sw} \cdot \frac{1}{D'_{13}} - \varepsilon_{sw}(y) \cdot E_{sw} \cdot A_{sw} \cdot \frac{1}{D'_{13}} + \frac{D'_{14}}{D'_{13}} \cdot y + \frac{D'_{15}}{D'_{13}}, \quad (3)$$

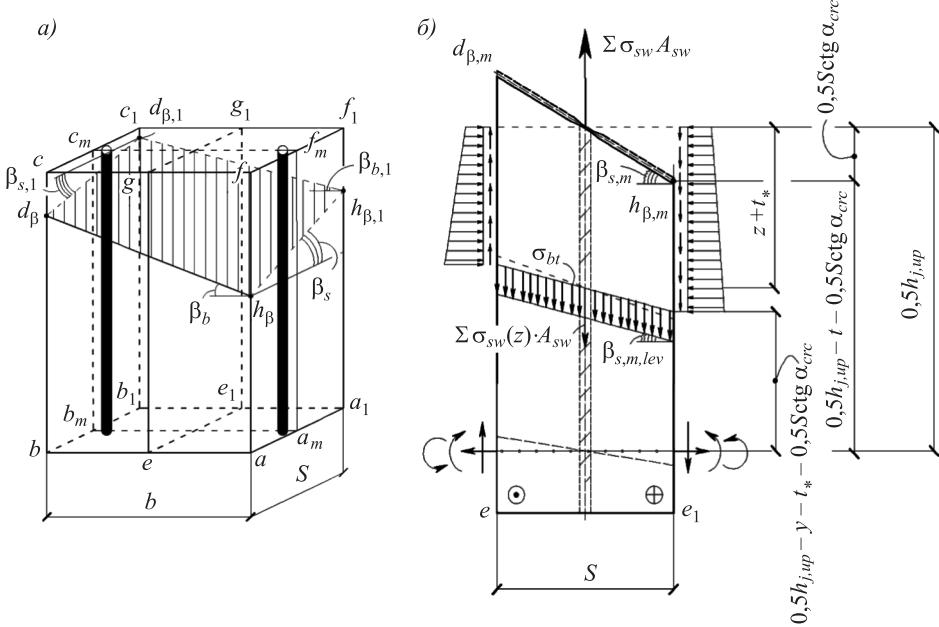


Рис. 4. Уровневая модель в виде представительного объема железобетонной конструкции, подверженной кручению с изгибом со схемой пространственной трещины (a), и поперечное сечение \$ee_1gg_1\$ со схемой усилий и напряжений в этом сечении (б)

где параметры \$D'_1 - D'_{12}\$ выражаются в виде функций от усилий в сечениях, которые ограничивают представительный объем с физико-механическими характеристиками бетона, армированием и моделированием сцепления. Приведенная уровневая модель используется для определения деформаций растянутого бетона \$\varepsilon_{bt}(y)\$ вдоль оси поперечной (или продольной) арматуры \$i\$-го уровня образования пространственных трещин различных типов.

Определив деформации в бетоне, в сечении с координатой \$y\$ можно определить относительные взаимные смещения арматуры и бетона:

$$\varepsilon_g(y) = \varepsilon_{sw}(y) - \varepsilon_{bt}(y), \quad (4)$$

где деформации арматуры на основании работы [9] определяются выражением

$$\varepsilon_{sw}(y) = \varepsilon_{sw} + \frac{\Delta T}{E_{sw}A_{sw}} - \frac{S}{A_{sw}E_{sw}} \int_0^y \tau(y) dy. \quad (5)$$

Здесь \$S_s\$ – периметр поперечного сечения арматуры;

\$\varepsilon_s\$ – деформации арматуры в трещине;

\$\Delta T\$ – результирующая условных касательных напряжений в местной зоне, прилегающей к трещине;

\$\tau(y)\$ – условные касательные напряжения.

После подстановки (4) в (5), с учетом принятого критерия образования трещин, решение неоднородного дифференциального уравнения первого порядка с учетом граничных условий имеет следующий вид:

$$\varepsilon_g(y) = \left(\varepsilon_{sw} + \frac{\Delta T}{E_{sw}A_{sw}} - \frac{\sigma_{bt,c}}{v_b E_b} - \frac{D_{14}}{D_{13} \cdot B} \right) e^{-By} - \frac{D_{14}}{D_{13} \cdot B}, \quad (6)$$

где B – параметр сцепления арматуры с бетоном, определяемый по формуле

$$B = \frac{S_S \cdot G}{K \cdot A_S \cdot E_S};$$

D_{14} и D_{13} – функции от усилия в сечениях, вырезающих представительный объем и зависящих от параметров бетона армирования и сцепления.

Принимая в качестве критерия образования смежных пространственных трещин достижение растянутыми волокнами бетона вдоль осей рабочей арматуры своих *пределенных деформаций* $\varepsilon_{bt,u}$, определяется расстояние между трещинами последующего уровня вдоль осей поперечной (продольной) арматуры:

$$l_{crc} = \frac{2(\ln B'_4 - B't_*)}{-B'}. \quad (7)$$

В формулах (6) и (7) параметры B' , B'_4 являются функциями от граничных деформаций удлинения бетона, параметров, учитывающих эффект нарушения сплошности бетона геометрических характеристик и характеристик сцепления арматуры и бетона [12]; $\sigma_{bt,c}$ и ΔT – напряжения сжатия и результатирующее усилие условного касательного напряжения в местной зоне, прилегающей к трещине (определяются в соответствии с предложениями В.М. Бондаренко и Вл.И. Колчунова [12]).

Раскрытие трещин в железобетоне рассматривается как накопление относительных взаимных смещений арматуры и бетона на участках, расположенных по обе стороны от трещины; при этом учитывается эффект, связанный с нарушением сплошности бетона (уточненная гипотеза Томаса).

В соответствии с этой гипотезой задача по определению ширины раскрытия трещин a_{crc} сводится к нахождению относительных взаимных смещений $\varepsilon_g(y)$ арматуры и бетона на участках между трещинами:

$$a_{crc} = 2 \int_0^{t_*} \varepsilon_g(y_1) dy_1 + \int_0^{\eta \cdot l_{crc}} \varepsilon_g(y) dy + \int_{\eta \cdot l_{crc}}^{l_{crc}} \varepsilon_g(y) dy. \quad (8)$$

После интегрирования и некоторых упрощений получим

$$a_{crc} = -\frac{2\Delta T}{G} - \frac{2B_{a,2}}{B} - \frac{2B_2}{B} \ln \left(1 + \frac{B_{a,2} \cdot A_{sw} E_{sw}}{q_{sw} S + B_{a,1} A_{sw} E_{sw}} \right), \quad (9)$$

где G – условный модуль деформаций сцепления арматуры и бетона;

S – периметр поперечного сечения арматуры;

ε_s – деформации арматуры в трещине;

A_{sw} – площадь поперечного сечения хомутов;

B_1, B_2 – параметры сцепления.

Выводы. 1. Предложены методика и алгоритм моделирования пространственных дискретных трещин и других значимых параметров нелинейного деформирования железобетона с трещинами при сложном сопротивлении – кручении с изгибом, оказывающих существенное влияние на напряженно-деформированное состояние составных конструкций и в первую очередь на изменение их жесткости.

2. Построенная уровневая расчетная модель трещиностойкости и жесткости сложнонапряженных железобетонных конструкций при совместном действии поперечной силы, изгибающего и крутящего моментов и продольной силы, с использованием возможностей вычислительного комплекса «Лира-САПР» позволяет достаточно строго определять напряженно-деформированное состояние таких конструкций при наличии пространственных трещин, различных типов с учетом возмущений в шве контакта двух бетонов, несовместности деформаций бетона и арматуры при трещинообразовании, эффекта нарушения сплошности бетона, многоуровневого процесса развития трещин и других особенностей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Yong zhen Li. Final Report Predicting of the Stiffness of Cracked Reinforced Concrete Structures. 2010. 147 p.
2. Колчунов Вл.И., Яковенко И.А., Лымарев Я.В. Жесткость железобетонных составных конструкций при наличии различных трещин // Стр-во и реконструкция. 2015. № 5 (61). С. 17–24.
3. Колчунов В.И., Яковенко И.А., Тугай Т.В. Методика расчета жесткости плосконапряженных железобетонных конструкций с привлечением программного комплекса «Лира-Pro» // Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво). Полтава: ПолтНТУ, 2014. Вип. 3(42). Т. 2. С. 55–66.
4. Колчунов В.И., Марьянков Н.Г., Омельченко Е.В. и др. Методика определения жесткости плосконапряженных и стержневых железобетонных составных конструкций при сейсмических воздействиях // Пром. и гражд. стр-во. М., 2014. № 2. С. 12–15.
5. Баширов Х.З., Колчунов В.И., Федоров В.С., Яковенко И.А. Железобетонные составные конструкции зданий и сооружений. М.: ACB, 2017. 248 с.
6. Bazant Z.P., Cedolin L. Fracture mechanics of reinforced concrete // Journal of the engineering mechanics, ASCE. 1980. Vol. 106. P. 1287–1306.
7. Ostachowicz W.M., Krawczuk M. Vibration analysis of a cracked beam // Computers & Structures. 1990. 36(2). P. 245–250.
8. Морозов Е.Н., Никишков Г.П. Метод конечных элементов в механике разрушения. М.: Едиториал УРСС, 2010. 256 с.
9. Цыфанский С.Л., Бересневич В.И., Лушников Б.В. Нелинейная вибродиагностика машин и механизмов. Рига: Зинатне, 2008. 366 с.
10. Ермакова А.В. Матрица жесткости дополнительного треугольного бетонного конечного элемента балки-стенки // Строит. механика и расчет сооружений. 2008. № 1. С. 23–28.
11. Ilker K., Saruhan K. Torsional Rigidities of Reinforced Concrete Beams Subjected to Elastic Lateral Torsional Buckling // International Journal of Civil and Environmental Engineering. 2017. Vol. 11. No. 7. P. 969–972.
12. Pettersen J.S. Non-Linear Finite Element Analyses of Reinforced Concrete with Large Scale Elements: Including a Case Study of a Structural Wall. Norwegian University of Science and Technology, 2014. 85 p.
13. Santhakumar R., Dhanaraj R., Chandrasekaran E. Behaviour of retrofitted reinforced concrete beams under combined bending and torsion: A numerical study // Electronic Journal of Structural Engineering. 2007. No. 7. P. 1–7.
14. Демьянов А.И., Колчунов В.И., Яковенко И.А. К задаче динамического догружения арматуры при мгновенном образовании пространственной трещи-

- ны в железобетонной конструкции при кручении с изгибом // Пром. и гражд. стр-во. 2017. № 9. С. 18–24.
15. Emelyanov S., Nemchinov Y., Kolchunov V., Yakovenko I. Details of large-panel buildings seismic analysis// Enfoque UTE. 2016. No. 7(2). P. 120–134.
16. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: АСВ, 2004. 472 с.
17. Salnikov A., Kolchunov Vl., Yakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 725–726. P. 784–789.
18. Yakovenko I., Kolchunov Vl. The development of fracture mechanics hypotheses applicable to the calculation of reinforced concrete structures for the second group of limit states // Journal of Applied Engineering Science. 2017. Vol. 15 (2017) 3, article 455. P. 366–375. Doi:10.5937/jaes15-14662.

Демьянов Алексей Иванович, канд. техн. наук, доц.;

E-mail: speccompany@gmail.com

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Наумов Николай Валерьевич, асп.;

E-mail: lich1992@hotmail.ru

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Колчунов Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф.;

E-mail: vlik52@mail.ru

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Получено 07.06.18

Dem'yanov Aleksey Ivanovich, PhD, Ass. Professor;

E-mail: speccompany@gmail.com

South-West State University, Kursk, Russia

Naumov Nikolay Valer'evich, Post-graduate Student;

E-mail: lich1992@hotmail.ru

South-West State University, Kursk, Russia

Kolchunov Vladimir Ivanovich, DSc, Professor;

E-mail: vlik52@mail.ru

South-West State University, Kursk, Russia

THE METHOD OF DEFINING DEFORMATION PARAMETERS AND CRACK RESISTANCE OF COMPOSITE REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS UNDER THE ACTION TORSION WITH BENDING

It is presented the method, calculation models and algorithm for calculation parameters of deformation and fracture resistance of composite reinforced concrete constructions under the action torsion with bending. The basis of the proposed classification of discrete cracks is laid: the decomposition method, geometric, power and inter-median (contact of different concrete) concentration of stress-strain state. There are proposed calculated models of various levels with complete picture of cracks and their projections on the plane in the form of the function of many variables, with the corresponding design cross-sections for the determination of the stress-strain state of which attracted the capabilities of modern software complexes. The calculated deformation model of tight-stressed reinforced concrete constructions allows to take into account the effect of violation of concrete continuity, inconsistency of concrete deformations and reinforcement, intermediate perturbation in the contact between the concrete. At the same time, the width of the cracks

opening is determined along the entire profile of the crack, taking into account the level change of the distance between them.

Key words: reinforced concrete, composite constructions, spatial cracks, rigidity, classification of cracks, effect of disturbing the continuity of concrete, width of the crack-opening, calculation algorithm, projection of cracks, block model.

REFERENCES

1. Y o n g z h e n Li. Final Report Predicting of the Stiffness of Cracked Reinforced Concrete Structures. 2010. 147 p.
2. K o l c h u n o v V.I., Y a k o v e n k o I.A., L y m a r' Ya.V. Zhestkost' zhelezobetonnykh sostavnykh konstruktsiy pri nalichii razlichnykh treshchin [Rigidity of reinforced concrete composite structures in the presence of various cracks]. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya [Building and Reconstruction]. 2015. No. 5 (61). Pp. 17–24. (in Russian)
3. K o l c h u n o v V.I., Y a k o v e n k o I.A., T u g a y T.V. Metodika rascheta zhestkosti ploskonapryazhennykh zhelezobetonnykh konstruktsiy s privlecheniem programmno-go kompleksa «Lira-Pro» [Resistance of plane-stressed walls to a skew in the presence of a diagonal crack with the use of the Lira-Pro software complex]. Academic journal. Industrial Machine Building. Poltava: Civil Engineering Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. 2014. No. 3 (42). Vol. 2. Pp. 55–66. (in Russian)
4. K o l c h u n o v V.I., M a r 'e n k o v N.G., O m e l 'c h e n k o E.V. i dr. Metodika opredeleniya zhestkosti ploskonapryazhennykh i sterzhnevyykh zhelezobetonnykh sostavnykh konstruktsiy pri seismicheskikh vozdeystviyah [Method of determination of stiffness of plane-stressed and rod reinforced concrete composite structures under seismic effects]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. Moscow, 2014. No. 2. Pp. 12–15. (in Russian)
5. B a s h i r o v Kh.Z., K o l c h u n o v V.I., F e d o r o v V.S., Y a k o v e n k o I.A. Zhelezobetonnye sostavnye konstruktsii zdaniy i sooruzheniy [Reinforced concrete composite structures of building and structures]. Moscow, ASV, 2017. 248 p. (in Russian)
6. B a z a n t Z.P., C e d o l i n L. Fracture mechanics of reinforced concrete. Journal of the engineering mechanics, ASCE. 1980. Vol. 106. Pp. 1287–1306.
7. O s t a c h o w i c z W.M., K r a w c z u k M. Vibration analysis of a cracked beam. Computers & Structures. 1990. 36(2). Pp. 245–250.
8. M o r o z o v E.N., N i k i s h k o v G.P. Metod konechnykh elementov v mehanike razrusheniya [Finite element method in fracture mechanics]. Moscow, Editorial URSS, 2010. 256 p. (in Russian)
9. T s y f a n s k i y S.L., B e r e s n e v i c h V.I., L u s h n i k o v B.V. Nelineynaya vibrodiagnostika mashin i mekhanizmov [Nonlinear vibration diagnostics of machines and mechanisms]. Riga: Zinatne, 2008. 366 p. (in Russian)
10. E r m a k o v a A.V. Matritsa zhestkosti dopolnitel'nogo treugol'nogo betonnogo konechnogo elementa balki-stenki [Stiffness matrix of additional triangular concrete beam-wall finite element]. Stroitel'naya mehanika i raschet sooruzheniy [Construction mechanics and calculation of structures]. 2008. No. 1. Pp. 23–28. (in Russian)
11. I l k e r K., S a r u h a n K. Torsional Rigidities of Reinforced Concrete Beams Subjected to Elastic Lateral Torsional Buckling. International Journal of Civil and Environmental Engineering. 2017. Vol. 11. No. 7. Pp. 969–972.
12. P e t t e r s e n J.S. Non-Linear Finite Element Analyses of Reinforced Concrete with Large Scale Elements: Including a Case Study of a Structural Wall. Norwegian University of Science and Technology, 2014. 85 p.

13. Santhakumar R., Dhanaraj R., Chandrasekaran E. Behaviour of retrofitted reinforced concrete beams under combined bending and torsion: A numerical study. *Electronic Journal of Structural Engineering*. 2007. No. 7. Pp. 1–7.
 14. Dem'yanov A.I., Kolchunov V.I., Yakovenko I.A. K zadache dinamicheskogo dogruzheniya armatury pri mgnovennom obrazovanii prostranstvennoy treshchiny v zhelezobetonnoy konstruktsii pri kruchenii s izgibom [To the dynamic loading problem of reinforcement with the instantaneous formation of spatial crack in reinforced concrete construction under the action of torsion with bending]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering]. 2017. No. 9. Pp. 18–24. (in Russian)
 15. Emel'yanov S., Nemchinov Y., Kolchunov V.I., Yakovenko I.A. Details of large-panel buildings seismic analysis. *Enfoque UTE*. 2016. No. 7(2). Pp. 120–134.
 16. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. *Raschetnye modeli silovogo soprotivleniya zhelezobetona* [The computational model of a power resistance of reinforced concrete]. Moscow, ASV, 2004. 472 p. (in Russian)
 17. Salnikov A., Kolchunov Vl., Yakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 725–726. Pp. 784–789. (in Russian)
 18. Yakovenko I., Kolchunov Vl. The development of fracture mechanics hypotheses applicable to the calculation of reinforced concrete structures for the second group of limit states. *Journal of Applied Engineering Science*. 2017. Vol. 15(2017)3, article 455. Pp. 366–375. Doi:10.5937/jaes15-14662.
-

УДК 624.072.2.012.4.046

Ю.В. КРАСНОЩЕКОВ

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ

Предлагается расчетная модель несущей способности железобетонных элементов на совместное действие поперечных сил и изгибающих моментов при поперечном изгибе. За критерий прочности элемента по обобщенной модели расчета принято сопротивление бетона сжатой зоны нормального сечения сдвигу и сжатию. В результате анализа эмпирической зависимости поперечной силы, воспринимаемой бетоном в наклонном сечении, выявлены особенности сложного напряженного состояния сжатой зоны в предельном состоянии. Получены, в частности, сведения о предельном значении касательных напряжений в бетоне и их соотношении с нормальными напряжениями. Результаты анализа проверены на компьютерных моделях балки с разными размерами сжатой зоны бетона. Показано, что сопротивление сдвига бетона связано зависимостью с сопротивлением сжатию посредством специального коэффициента, равного отношению касательных и нормальных напряжений. Данный коэффициент можно определить методом компьютерного моделирования. При выводе обобщенной расчетной модели учтены результаты анализа плоского напряженного состояния при действии касательных и нормальных напряжений в сжатой зоне бетона наклонного сечения. Применение новой модели расчета прочности позволяет проектировать изгибаемые железобетонные элементы при любых комбинациях поперечных сил и изгибающих моментов с обоснованной надежностью и эффективностью.

Ключевые слова: прочность железобетона, наклонное сечение, поперечная сила, изгибающий момент, обобщенная расчетная модель, сопротивление бетона сдвигу.

Введение. Напряженное состояние сечений железобетонных элементов при поперечном изгибе в общем случае определяется совместным действием изгибающих моментов M и перерезывающих сил Q . Однако расчет прочности изначально ведется раздельно по моменту и по поперечной силе. Причем прочность по поперечной силе определяется эмпирической зависимостью, основной недостаток которой – сложность объективной оценки надежности расчета конструкции в конкретных условиях. Несовершенна также нормативная методика определения прочности наклонных сечений по моменту, не учитывающая влияние поперечной силы на напряженное состояние сжатой зоны. Устранение отмеченных недостатков возможно только с реализацией обобщенной модели расчета.

В России предпочтение отдают расчетным моделям метода сечений, наиболее удобному способу определения внутренних силовых факторов. В Европе и Америке при расчете на действие поперечных сил используют также альтернативные стержневые модели, основанные на ферменной аналогии (модель «тяжи и распорки») [1, 2].

Обоснованием расчета на раздельное действие изгибающих моментов M и поперечных сил Q являются два возможных случая разрушения изгибающихся элементов. При преобладающем действии моментов и продольных сил разрушение происходит в результате образования нормальных и наклонных (косых) трещин с последующим раздроблением сжатой зоны бетона над трещинами или разрывом растянутой арматуры, пересекающей трещины. Разрушение от действия поперечных сил, как установлено многочисленными опытами, происходит по наклонному сечению, проходящему по наклонной трещине с разрушением бетона над трещиной, иногда сопровождаемое срезом сжатой зоны. Общим в этих видах разрушения является образование и развитие трещин с последующим разрушением бетона сжатой зоны.

Общий характер разрушения положен в основу обобщенной модели расчета прочности железобетонных элементов при поперечном изгибе в виде условия [3]

$$Q/Q_{ult} + M/M_{ult} \leq 1, \quad (1)$$

где Q_{ult} и M_{ult} – предельные расчетные усилия в нормальном сечении.

В работе [4] предлагаемая расчетная модель подтверждена результатами экспериментальных исследований. Особое внимание обращено на недостаточность знаний о параметре Q_{ult} и в связи с этим на необходимость анализа напряженного состояния и обоснования предельных усилий. С этой целью выполнен анализ эмпирической модели предельной поперечной силы, воспринимаемой бетоном, которая реализована в нормах проектирования и надежность которой подтверждена длительным применением на практике.

Следует отметить, что пока еще нет полной ясности о размерах сжатой зоны бетона, от которых зависит величина M_{ult} в условии (1). Для выявления факторов, влияющих на расчетные параметры сжатой зоны сечений железобетонного элемента, выполнен анализ напряженного состояния бетона в этой зоне под действием касательных и нормальных напряжений.

Положительные результаты анализа в совокупности с данными численного моделирования изгибаемых элементов могут быть свидетельством эффективного применения обобщенной модели при проектировании железобетонных конструкций.

Результаты анализа эмпирической расчетной модели. В работе [5] приведены некоторые результаты анализа нормативной (СНиП 52-01-2003) зависимости предельной поперечной силы Q_b , воспринимаемой бетоном в наклонном сечении шириной b и рабочей высотой h_0 при длине c проекции на продольную ось изгибающего элемента и расчетном сопротивлении бетона растяжению R_{bt}

$$Q_b = \phi_{b2} R_{bt} b h_0^2 / c, \quad (2)$$

где ϕ_{b2} – коэффициент, принимаемый равным 1,5.

Расчетные значения Q_b должны быть не более $Q_{b1} = 2,5 R_{bt} b h_0$ и не менее $Q_{b1} = 0,5 R_{bt} b h_0$. Заметим, что параметр Q_b можно выразить через среднее значение $\bar{Q}_{b1} = 1,5 R_{bt} b h_0$ в виде $Q_b = \bar{Q}_{b1} h_0 / c$.

В результате анализа удалось установить физический смысл эмпирических коэффициентов зависимости (2) и оценить возможность применения в обобщенной модели (1) параметра Q_b в качестве расчетного усилия Q_{ult} .

Зависимость (2) имеет давнюю историю. В работе [6] проф. А.А. Гвоздев допустил возможность оценки прочности бетона сжатой зоны эмпирической формулой в виде

$$Q_b = 0,15R_u b h_0 \operatorname{tg}\alpha, \quad (3)$$

где $R_u \approx 1,25R_b$ – сопротивление бетона сжатию при изгибе;

α – угол наклона косой трещины к продольной оси балки.

Формула (3) была получена М.С. Боришанским по результатам испытаний балок прямоугольного сечения без поперечного армирования [7]. Учитывая, что по схеме М.С. Боришанского $\operatorname{tg}\alpha = h_0/c$, она была принята в качестве нормативной в виде

$$Q_b = 0,15R_u b h_0^2 / c, \quad (4)$$

где c – длина проекции косой трещины на ось балки, равная расстоянию между точками пересечения трещиной растянутой арматуры и крайнего сжатого волокна сечения (рис. 1).

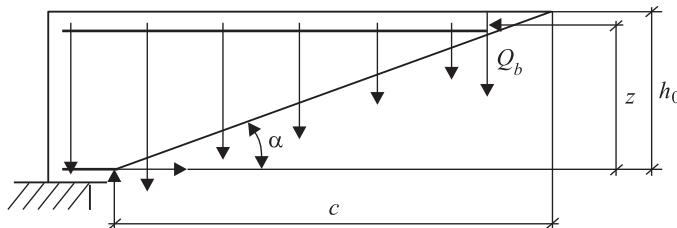


Рис. 1. Схема усилий в наклонном сечении, по М.С. Боришанскому

Обращаем внимание, что нормативная зависимость (2) по существу является аналогом формулы М.С. Боришанского, учитывая $R_{bt} \approx 0,1R_b$. В свое время переход от R_u сначала из соображений унификации к R_b , а затем к R_{bt} объяснялся тем, что прочность бетона на растяжение R_{bt} «физически более ясно отражает существование явления» [8]. Весьма спорное утверждение, учитывая, что речь идет о сжатой зоне изгибаемых элементов. Тем более, что в зарубежных нормах проектирования при расчете на поперечную силу отдается предпочтение расчетным сопротивлениям бетона сжатию [1, 2].

Длительное применение модели М.С. Боришанского при проектировании железобетонных конструкций подтверждает ее надежность, но не исключает необходимость теоретического обоснования эмпирической зависимости (4).

М.С. Боришанский отмечал, что величина Q_b является «проекцией на нормаль к оси элемента главных сжимающих напряжений в бетоне» [9]. Очевидно, здесь предполагалось, что усилие Q_b является эмпирической функцией касательных напряжений. В действительности зависимость касательных напряжений от главных несколько иная, что и выявлено при анализе плоского напряженного состояния сжатой зоны нормального сечения балок.

Известно, что величина Q_b зависит от многих факторов, в том числе от напряжений в продольной арматуре, величины предварительного напряжения, размеров площадки приложения внешней нагрузки, отношения M/Q и т.д. Однако для упрощения расчетной формулы влияние этих факторов

изначально не учитывается. На схеме М.С. Боришанского сжатая зона бетона с расчетным усилием Q_b не имеет конкретной привязки к наклонному сечению (рис. 1).

В работе [9] отмечено, что величина Q_b по существу включает в себя поперечную силу, воспринимаемую бетоном над наклонной трещиной, поэтому с известным приближением зависимость (4) была перенесена на элементы с поперечным армированием.

Уточняя физический смысл выражения (3), О.Я. Берг отмечал, что разрушение бетона в сжатой зоне происходит от поперечного разрыва бетона под действием усилия, равного геометрической сумме сжимающего усилия от действия изгибающего момента M_b в расчетном сечении и поперечной силы Q_b , т.е. равнодействующей двух сил [10]. При этом $\operatorname{tg}\alpha = Q_b z / M_b$ и, по мнению

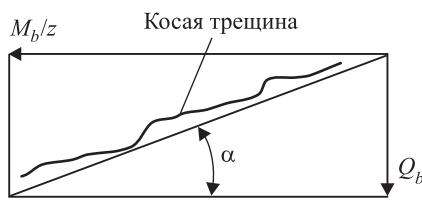


Рис. 2. Схема усилий в наклонном сечении, по О.Я. Бергу

О.Я. Берга, условия разрушения сжатой зоны бетона получают физическое объяснение (рис. 2). С.А. Тихомиров в своих исследованиях предполагал, что исходя из такого подхода, может быть получена более общая формула прочности бетона, по отношению к которой зависимость (4) является частным случаем.

По рекомендации О.Я. Берга подставим в уравнение (3) полученное выражение $\operatorname{tg}\alpha$.

Заменим также h_0 на параметр высоты сжатой зоны x/ξ и учтем, что с учетом пластических деформаций бетона прочность нормального сечения, проходящего через вершину косой трещины, определяется моментом $M_b = R_u b x z$. Получим $Q_b = 0,15 R_u b x Q_b z / \xi R_u b x z$. Выполним преобразование и получим, что формула М.С. Боришанского действительно соответствует частному случаю относительной высоты сжатой зоны $\xi = 0,15$. Несложно заметить, что при $\xi > 0,15$ формула (4) обеспечивает определенный запас прочности наклонного сечения. При $\xi < 0,15$, наоборот, она завышает прочность наклонных сечений. Казалось бы, при этом надежность изгибаемых элементов должна снижаться, однако практика не подтверждает данный факт. Объяснением повышенной надежности могут быть результаты экспериментально-теоретических исследований прочности бетона сжатых зон изгибаемых элементов, приведенные в работе [11], свидетельствующие о повышенной прочности бетона при $\xi \leq 0,15$ вследствие влияния масштабного фактора. В частности, экспериментально подтверждено, что при $\xi = 0,15$ прочность бетона сжатой зоны больше призменной прочности почти в 1,5 раза.

Однако рекомендации О.Я. Берга развития не получили и поиски общего решения затянулись. Длительное время проводили экспериментальные и теоретические исследования, направленные на совершенствование метода расчета прочности железобетонных элементов по наклонным сечениям в основном путем детализации и усложнения теоретических моделей. Оценивали влияние сил зацепления по берегам наклонной трещины, выявляли работу арматуры на срез (нагельный эффект), предпринимали попытки создания новых теорий [12–20]. В последнее время много внимания было уделено разработке расчетных моделей с учетом трещин и физической нелинейности

деформаций материалов, результаты которых позволяют уточнять влияние отдельных факторов на прочность железобетонных элементов при действии поперечных сил [21–23]. В диссертации А.С. Силантьева отмечена взаимосвязь между предельной поперечной силой и высотой сжатой зоны в момент разрушения.

По мнению многих исследователей, ключевым параметром для расчетной оценки величины Q_b является предельное значение касательных напряжений τ_{ult} , которое иногда отождествляется с сопротивлением бетона срезу (сдвигу) $R_{b,sh}$. Этот параметр не нормируется (считается, по причине малой востребованности) и, вероятно, поэтому недостаточно изучен. Покажем, что из эмпирической формулы (4) можно извлечь полезную информацию о величине τ_{ult} .

Поскольку из соображений унификации отказались от расчетного параметра R_u , заменив его призменной прочностью R_b , то представим выражение (4) в виде

$$Q_b = 0,15R_b b x h_0 / c \xi \quad (5)$$

с параметром высоты сжатой зоны x/ξ , которая подвергается срезу поперечной силой.

Выражение (5) можно рассматривать как предельное значение момента $Q_b c = 0,15R_b b x z / \xi(1 - \xi/2)$ при $\xi = 0,163$. Кроме того, так как группа параметров $R_b b x$ соответствует прочности бетона N_b от сжимающего действия изгибающего момента, то величину

$$k_Q = 0,15h_0/c\xi \quad (6)$$

можно считать коэффициентом перехода от прочности на сжатие к прочности на срез, т.е. $R_{b,sh} = k_Q R_b$, а в общем случае $Q_b = k_Q N_b$. Здесь эмпирический коэффициент 0,15 по существу является коэффициентом внутреннего трения, который в совокупности со сжимающим напряжением $\sigma = R_b$ характеризует предельное значение касательных напряжений τ_{ult} или сопротивление срезу $R_{b,sh}$ бетона сжатой зоны с геометрическими параметрами, представленными в формуле (5). В общем случае коэффициент внутреннего трения можно представить в виде отношения касательных и нормальных напряжений $k_Q = \tau/\sigma$. В результате анализа зависимости (6) обнаружен поразительный эффект: при малой высоте сжатой зоны ($\xi < 0,15$) сопротивление бетона срезу может превышать сопротивление сжатию. Теперь понятна причина осторожности А.А. Гвоздева, когда он характеризовал разрушение блоков по наклонному сечению как условный срез сжатой зоны [6], ведь согласно справочным данным рекомендуется принимать расчетные значения сопротивления бетона срезу по эмпирической зависимости $R_{b,sh} = (0,5 - 0,7)\sqrt{R_b R_{bt}} = k_Q R_b \approx 0,2R_b$ или в виде удвоенного сопротивления бетона растяжению R_{bt} [19, 24]. Возможно ли такое, не в этом ли причина «проклятого» вопроса теории железобетона?

Кстати, по нормам проектирования железобетонных конструкций разных стран расчет на совместное действие поперечной и нормальной сил в настоящее время выполняется при условии $c = h_0$ с учетом коэффициента

трения 0,15, на который умножаются нормальные напряжения от усилий сжатия [1, 2, 25].

По мнению О.Я. Берга, величина касательных напряжений не может быть критерием прочности бетона и служить характеристикой наступления предельного состояния бетона [10]. Ссылаясь на специальные опыты Смита и Брауна, он показал, что при одноосном сжатии бетона справедливо отношение $\tau_{\max}/\sigma_{\max} = 0,5$. При боковом обжатии это отношение снижается, т.е. значение τ_{\max} меняется с изменением напряженного состояния, в том числе и перед разрушением [26]. В результате опытов получены величины наибольших касательных напряжений при одноосном сжатии, во много раз превышающие значения сопротивлений срезу, которые обычно принимаются для бетона. Явное противоречие между величинами наибольших касательных напряжений, возникающих при одноосном сжатии, и величинами сопротивления срезу, которые определяли в опытах на чистый срез. В действительности сопротивление бетона срезу может превышать по абсолютному значению даже призменную прочность. Замечено также, что в опытах на чистый срез разрушение фактически происходит не по исследуемой плоскости среза, а по наклонным поверхностям.

Таким образом, нормируемая величина Q_b характеризуется касательными напряжениями в сжатой зоне бетона, поэтому в случае применения ее в зависимости (2) целесообразно выражать показатель прочности бетона через сопротивление сжатию, как и при расчете прочности нормальных сечений. Величина Q_b зависит от высоты сжатой зоны, а численный коэффициент эмпирической формулы (2) можно трактовать как минимальное значение относительной высоты сжатой зоны, при котором обеспечивается надежность нормативной модели. Зависимость численного коэффициента от высоты сжатой зоны, которая определяется действием изгибающих моментов, является основанием обобщенной модели расчета прочности сечений при поперечном изгибе. По формуле (6) можно определить коэффициент перехода от прочности на сжатие к прочности на срез для расчетов по первой группе предельных состояний.

Теоретические основы и предпосылки обобщенной модели. Теоретическое подтверждение обобщенной модели получено при анализе плоского напряженного состояния сжато-сдвигаемого сечения балочных элементов, в котором действуют напряжения τ и σ (рис. 3).

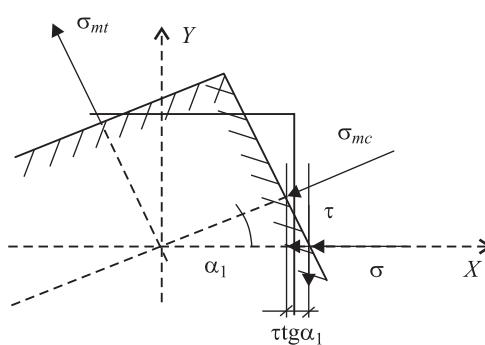


Рис. 3. Схема векторов напряжений при плоском напряженном состоянии

Известно, что в сплошных средах главное сжимающее напряжение σ_{mc} может быть представлено в виде суммы нормальных и касательных напряжений, действующих на произвольных площадках, отклоненных от главной площадки на угол α_1 [24]

$$\sigma_{mc} = \sigma + \tau \operatorname{tg} \alpha_1. \quad (7)$$

В уравнении (7) условию $\operatorname{tg} \alpha_1 = 1$ соответствуют нормальные напряжения $\sigma = 0$ и главные напряже-

ния σ_{mt} (чистый сдвиг), а при $\operatorname{tg}\alpha_1 > 1$ меняется знак σ . Представим уравнение (7) в виде

$$\frac{Q}{bx} \operatorname{tg}\alpha_1 + \frac{M}{bxz} = \sigma_{mc}. \quad (8)$$

Разделим все члены уравнения (8) на σ_{mc} и получим выражение подобное, а в частных случаях эквивалентное равенству (1):

$$\frac{Q}{bx\sigma_{mc}} \operatorname{tg}\alpha_1 + \frac{M}{bxz\sigma_{mc}} = 1, \quad (9)$$

где $Q_{ult} = bx\sigma_{mc}/\operatorname{tg}\alpha_1$ и $M_{ult} = bxz\sigma_{mc}$.

В уравнении (9) критерием прочности бетона является параметр σ_{mc} . Например, при $\sigma_{mc} = R_b$ и $x = \xi h_0 = 0,15h_0$ величина $Q_{ult} = \bar{Q}_{b1}/\operatorname{tg}\alpha_1$ (с учетом замены R_{bt} на R_b).

Соотношение значений k_Q и $\operatorname{tg}\alpha_1$ можно оценить из зависимости, которая получается, если разделить на σ все члены уравнения (7):

$$\operatorname{tg}\alpha_1 = \tau/\sigma = (\sigma_{mc}/\sigma - 1)/k_Q. \quad (10)$$

Очевидно, что в соответствии с (10) отношение σ_{mc}/σ может быть критерием расчета прочности по обобщенной модели.

Например, если принять $\sigma_{mc}/\sigma = R/R_b = 1,2$, то при $\operatorname{tg}\alpha_1 = 0,5$ имеем $k_Q = 0,4$. Так, по результатам испытания 15 опытных образцов при $h_0/c = 0,5$ получено среднее значение $k_Q = 0,395$ [4].

Основной предпосылкой обобщенной модели прочности железобетонного элемента при поперечном изгибе является представление сжато-сдвигаемой площади сечения бетона в виде суммы

$$A_b = Q/k_Q R_b + M/k_N R_b z. \quad (11)$$

Разделив все члены равенства (11) на A_b , получим обобщенное уравнение, соответствующее (1).

При определении параметра z целесообразно использовать традиционную предпосылку о равномерном распределении напряжений по сжато-сдвигаемой зоне. Вероятность снижения прочности на сжатие необходимо учитывать как следствие негативного влияния касательных напряжений. Однако здесь необходимо напомнить, что раньше в качестве сопротивления сжатию бетона изгибаемых элементов принимали специальный параметр R_u со значением, приблизительно равным кубиковой прочности, поэтому применение коэффициента $k_N = 1$ к расчетному значению приизменной прочности для обобщенного расчета вполне обоснованно.

При отсутствии поперечного армирования и внешней нагрузки по длине наклонного сечения предельное значение поперечной силы $Q_{ult} = k_Q R_b A_b$, момент от внешних нагрузок $M = Qc$ и предельное значение изгибающего момента $M_{ult} = R_b A_b z$. Преобразуя уравнение (11), получим выражение

$$Q(1/k_Q + c/z) = R_b A_b, \quad (12)$$

из которого можно получить условие обеспечения прочности железобетонного элемента по наклонному сечению без поперечного армирования в виде

$$R_b \geq Q(1/k_Q + c/z)/bx. \quad (13)$$

Моделирование напряженного состояния при поперечном изгибе. Соотношения параметров $\operatorname{tg} \alpha_1$ и h_0/c при разных значениях относительной высоты сжатой зоны определены на компьютерной модели балки.

Компьютерная модель статически определимой балки на двух опорах выполнена в ПК «Лира». Балка пролетом $l_0 = 1$ м, шириной $b = 0,1$ м и высотой $h_0 = 0,1$ м предварительно была рассчитана на действие сосредоточенной силы 20 кН, приложенной в середине пролета ($l_0/h = 10$). Полученную в результате расчета прочности по нормальному сечению продольную арматуру $\varnothing 16$ мм учитывали на всех этапах испытания (расчета) (коэффициент армирования $\mu = 0,02$). На каждом этапе балку загружали двумя сосредоточенными силами по 10 кН, расположенными на одинаковых расстояниях от опор $c = nh_0$. Принят тип нагрузки, который применяется обычно при испытании изгибаемых элементов на действие поперечной силы. Рассматривали 8 вариантов значений $n = 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0$ и $4,5$, при которых значения опорных реакций были одинаковыми и равными 10 кН. Расчет в каждом варианте нагружения выполняли с условными значениями относительной высоты сжатой зоны $\xi = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4$ и $0,5$ нормального сечения. Трешины в нормальных сечениях моделировали путем удаления конечных элементов бетона условной растянутой зоны (рис. 4).

При моделировании бетона применены пластинчатые четырехузловые конечные элементы КЭ-21. Модель балки вдоль пролета и по высоте расчленена конечными элементами 1×1 см толщиной 10 см. Арматуру моделировали стержневыми конечными элементами длиной по 1 см. В табл. 1 приведены коэффициенты $k_Q = \tau/\sigma$ при разных значениях c и ξ .

В табл. 1 и 2 представлены результаты расчета в общем случае упругого деформирования.

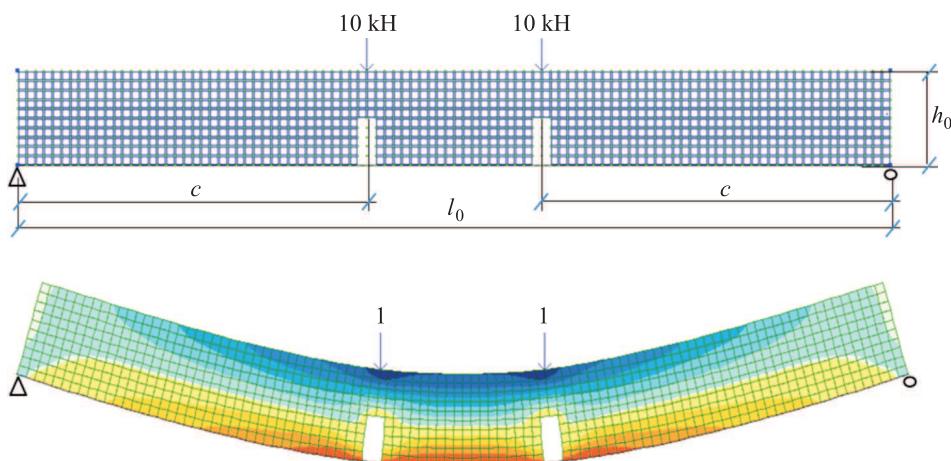


Рис. 4. Модель опытной балки с трещинами из конечных элементов и деформированная схема с мозаикой нормальных напряжений

Таблица 1. Отношения касательных и нормальных напряжений $k_Q = \tau/\sigma$

c/h_0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
$\xi = 0,5$	0,884	0,570	0,421	0,334	0,276	0,236	0,206	0,180
	0,300	0,200	0,150	0,120	0,100	0,086	0,075	0,067
$\xi = 0,4$	0,841	0,543	0,402	0,319	0,264	0,226	0,197	0,172
	0,375	0,250	0,187	0,150	0,125	0,107	0,094	0,083
$\xi = 0,3$	0,814	0,526	0,390	0,310	0,257	0,219	0,191	0,168
	0,500	0,333	0,250	0,200	0,167	0,143	0,125	0,111
$\xi = 0,2$	0,786	0,509	0,379	0,301	0,250	0,214	0,187	0,165
	0,750	0,500	0,375	0,300	0,250	0,214	0,187	0,167
$\xi = 0,1$	0,722	0,471	0,351	0,280	0,233	0,199	0,174	0,155
	1,500	1,000	0,750	0,600	0,500	0,429	0,375	0,333

Таблица 2. Отношения σ_{mc}/σ и $\operatorname{tg}\alpha_1$ в компьютерной модели балки

h_0/c	1,000	0,667	0,500	0,400	0,333	0,286	0,250	0,222
$\xi = 0,5$	1,999	1,511	1,314	1,218	1,165	1,132	1,111	1,092
	1,130	0,896	0,746	0,653	0,598	0,559	0,539	0,511
$\xi = 0,4$	1,898	1,431	1,241	1,150	1,099	1,071	1,053	1,038
	1,068	0,794	0,600	0,470	0,375	0,314	0,269	0,221
$\xi = 0,3$	1,812	1,380	1,210	1,129	1,086	1,061	1,045	1,034
	0,998	0,722	0,538	0,416	0,335	0,279	0,236	0,202
$\xi = 0,2$	1,700	1,329	1,184	1,115	1,078	1,056	1,042	1,032
	0,891	0,646	0,485	0,382	0,312	0,262	0,225	0,194
$\xi = 0,1$	1,515	1,244	1,144	1,093	1,060	1,047	1,033	1,026
	0,713	0,518	0,410	0,332	0,258	0,236	0,190	0,168

В табл. 1 приведены отношения средних по высоте сжатой зоны значений коэффициентов $k_Q = \tau/\sigma$ для опытной балки с трещинами при разных значениях c/h_0 и ξ (вверху). Для сравнения применительно к опытной балке внизу даны результаты расчета коэффициента k_Q , определенные по формуле (6).

Из сопоставления табличных данных видно, что нормативные значения коэффициента k_Q могут существенно отличаться от значений, определенных методом конечных элементов для рассмотренной модели прямоугольного сечения, и в целом близки к ним при относительной высоте сжатой зоны $\xi = 0,2$.

В табл. 2 приведены отношения средних по высоте сжатой зоны значений главных и нормальных напряжений σ_{mc}/σ (вверху) и параметров $\operatorname{tg}\alpha_1$ (внизу), полученных по формуле (10) для опытной балки с трещинами при разных значениях h_0/c и ξ .

При применении зависимости (7) в предельном состоянии основным критерием прочности является отношение σ_{mc}/σ . Отношения $\sigma_{mc}/\sigma < 1,2$ выполняются в основном при $h_0/c \leq 0,5$. Установлено, что для опытной балки значения параметров h_0/c и $\operatorname{tg}\alpha_1$ в общем случае значительно отличаются.

Равенство $h_0/c = \operatorname{tg}\alpha_1$ возможно во всех сечениях h_0/c , но при разной высоте ξ сжатой зоны. Равенство при минимальном значении $\xi \approx 0,22$ отмечено в сечении между $h_0/c = 2/3$ и $h_0/c = 0,5$.

Проверочные расчеты показывают, что коэффициенты k_Q в упругих моделях незначительно уменьшаются при снижении модуля упругости бетона и коэффициента армирования. Установлена более значимая зависимость коэффициентов k_Q от вида внешней нагрузки и уровня приложения ее по высоте балки.

Заключение. Сжатая зона бетона в нормальных сечениях железобетонных элементов при поперечном изгибе находится в сложном напряженном состоянии под действием касательных и нормальных взаимозависимых напряжений, соотношение которых влияет на характер разрушения.

Основой аналитического выражения для определения несущей способности железобетонных элементов при поперечном изгибе может быть обобщенная расчетная модель (1), которая обоснована классической зависимостью (7) плоского напряженного состояния.

Расчетные значения параметров прочности железобетонных элементов при поперечном изгибе рекомендуется определять опытным путем и компьютерным моделированием с учетом трещин и квазиупругих деформаций.

Применение новой модели расчета прочности позволяет проектировать изгибаемые железобетонные элементы с обоснованной надежностью и эффективностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Beeby A.W., Narayan R.S. Designers guide to Evtrocode 2: Design of concrete structures. London, 2009. 230 p.
2. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and commentary (ACI 318r-02). American Concrete Institute. Farmington Hills, 2014.
3. Краснощеков Ю.В. Прочность железобетонных элементов по наклонным сечениям при совместном действии поперечных сил и моментов // Вестн. СибАДИ. 2009. № 3. С. 46–50.
4. Краснощеков Ю.В. Несущая способность по наклонным сечениям железобетонных элементов при совместном действии поперечных сил и моментов // Изв. вузов. Строительство. 2017. № 11-12. С. 5–14.
5. Краснощеков Ю.В. О поперечной силе, воспринимаемой бетоном в наклонном сечении железобетонных элементов // Вестн. СибАДИ. 2018. № 3. С. 46–50.
6. Гоздев А.А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. М.: Стройиздат, 1949. 280 с.
7. Боришанский М.С. Расчет отогнутых стержней и хомутов в изгибаемых железобетонных элементах по стадии разрушения. М.; Л.: Стройиздат, 1946. 79 с.
8. Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций / под ред. А.А. Гвоздева. М.: Стройиздат, 1978. 204 с.
9. Боришанский М.С. Расчет железобетонных элементов при действии поперечных сил // Расчет и конструирование элементов железобетонных конструкций / под ред. А.А. Гвоздева. М.: Стройиздат, 1964. С. 122–143.

10. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. М.: Госстройиздат, 1962. 96 с.
11. Краснощеков Ю.В. Прочность бетона сжатых зон изгибаемых и внецентренно-загруженных железобетонных элементов // Вестн. СибАДИ. 2006. № 4. С. 130–133.
12. Залесов А.С., Ильин О.Ф., Титов И.А. Напряженное состояние перед разрушением // Новое о прочности железобетона / под ред. К.В. Михайлова. М.: Стройиздат, 1977. С. 76–93.
13. Гвоздев А.А., Залесов А.С. К расчету прочности наклонных сечений железобетонных элементов // Бетон и железобетон. 1981. № 11. С. 38–39.
14. Криакиди Г.И., Шеина С.Г. Расчет прочности наклонных сечений железобетонных элементов при совместном действии поперечной и продольной сил // Вопросы прочности, деформативности и трещиностойкости железобетона. Ростов н/Д, 1979. С. 40–43.
15. Колчунов В.И. К расчету прочности железобетонных элементов при совместном действии изгибающего момента и поперечной силы // Надежность и качество железобетонных конструкций. Куйбышев, 1977. С. 66–72.
16. Голышев А.Б., Колчунов В.И., Смоляго Г.А. Экспериментальные исследования железобетонных элементов при совместном действии изгибающего момента и поперечной силы // Исследование строительных конструкций и сооружений. М., 1980. С. 26–42.
17. Залесов А.С., Ильин О.Ф. Опыт построения новой теории прочности балок в зоне действия поперечных сил // Новое о прочности железобетона / под ред. К.В. Михайлова. М.: Стройиздат, 1977. С. 115–140.
18. Залесов А.С., Климов Ю.А. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил. Киев: Будивельник, 1989. 104 с.
19. Кудзис А.П. Железобетонные и каменные конструкции. В 2-х ч. Ч. 1. Материалы, конструирование, теория и расчет. М.: Высш. шк., 1988. 287 с.
20. Пукелис П.И. О сопротивлении бетона сжатию при срезе // Материалы к VII Всесоюз. конф. «Перспективы развития бетона и железобетона». Вильнюс, 1972. С. 52–58.
21. Баширов Х.З. Железобетонные составные конструкции транспортных зданий и сооружений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01. М.: МГУПС, 2013. 40 с.
22. Карпенко С.Н. Модели деформирования железобетона в приращениях и методы расчета конструкций: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01. М.: НИИСФ, 2010. 40 с.
23. Слантьев А.С. Сопротивление изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям с учетом влияния продольного армирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / МГСУ. М., 2012. 20 с.
24. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Расчетно-теоретический. В 2-х кн. Кн. 1 / под ред. А.А. Уманского. М.: Стройиздат, 1972. 600 с.
25. Алмазов В.О. Проектирование железобетонных конструкций по евронормам. М.: ACB, 2007. 216 с.
26. Smith F., Brown R. The Shearing Strength of Concrete, Bull. Univ. of Washington. 1941. No. 106.

Краснощеков Юрий Васильевич, д-р техн. наук, доц.; E-mail: uv1942@mail.ru
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, г. Омск

Krasnoshchekov Yuriy Vasil'evich, DSc, Ass. Professor;
E-mail: uv1942@mail.ru
Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

A GENERALIZED MODEL FOR CALCULATING THE STRENGTH REINFORCED CONCRETE ELEMENTS UNDER TRANSVERSE BENDING

A computational model of the bearing capacity of reinforced concrete elements on the combined action of transverse forces and bending moments in transverse bending is proposed. For the criterion of strength of the element on the generalized model of calculation is taken the concrete resistance of the compressed zone of the normal section of shear and compression. As a result of the analysis of empirical dependence of the transverse force perceived by the concrete in inclined section, the features of the complex stress state of the compressed zone in the limiting state are revealed. In particular, the data on the limit value of shear stresses in concrete and their ratio to normal stresses are obtained. The results of the analysis are tested on computer models of the beam at different sizes of the compressed concrete zone. It is shown that the resistance to concrete shear is related to the dependence of the compressive resistance by a special coefficient equal to the ratio of tangential and normal stresses. This coefficient can be determined by computer modeling. The results of the analysis of the plane stress state under the action of tangential and normal stresses in the compressed zone of the inclined section of concrete are taken into account in the derivation of the generalized calculation model. Application of the new strength calculation model allows to design the bent iron-concrete elements at any combination of transverse forces and bending moments with reasonable reliability and efficiency.

К e y w o r d s: strength of reinforced concrete, inclined cross-section, transverse force, bending moment, generalized computational model, shear resistance of concrete.

REFERENCES

1. Beeby A.W., Narayanan R.S. Designers guide to Evrocode 2: Design of concrete structures. London, 2009. 230 p.
2. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and commentary (ACI 318r-02). American Concrete Institute. Farmington Hills, 2014.
3. Krasnoshchekov Yu.V. Prochnost' zhelezobetonnykh elementov po naklonnym secheniyam pri sovmestnom deystvii poperechnykh sil i momentov [Strength of reinforced concrete elements on the inclined section under the joint action of the transverse forces and moments]. Vestnik SibADI [Vestnik SibADI]. 2009. No. 3. Pp. 46–50. (in Russian)
4. Krasnoshchekov Yu.V. Nesushchaya sposobnost' po naklonnym secheniyam zhelezobetonnykh elementov pri sovmestnom deystvii poperechnykh sil i momentov [Bearing capacity on inclined sections of reinforced concrete elements under joint action of transverse forces and moments]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2017. No. 11-12. Pp. 5–14. (in Russian)
5. Krasnoshchekov Yu.V. O poperechnoy sile, vosprinimaemoy betonom v naklonnom sechenii zhelezobetonnykh elementov [About the transverse force perceived by concrete in inclined section of reinforced concrete elements]. Vestnik SibADI [Vestnik SibADI]. 2018. No. 3. Pp. 46–50. (in Russian)
6. Gvozdев A.A. Raschet nesushchey sposobnosti po metodu predel'nogo ravnovesiya [Calculation of bearing capacity of structures by the method of limit equilibrium]. Moscow, Stroyizdat, 1949. 280 p. (in Russian)

7. Borishanskiy M.S. Raschet otognutых sterzhney i khomutov v izgibaemykh zhelezobetonnykh elementakh po stadii razrusheniya [Calculation of bent rods and clamps flexible reinforced concrete elements according to the stage of destruction]. Moscow; Leningrad, Stroyizdat, 1946. 79 p. (in Russian)
8. Novoe v proektirovaniii betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsiy [New in the design of concrete and reinforced concrete structures]. Ed. by A.A. Gvozdev. Moscow, Stroyizdat, 1978. 204 p. (in Russian)
9. Borishanskiy M.S. Raschet zhelezobetonnykh elementov pri deystvii poperechnykh sil [Calculation of reinforced concrete elements by the action shear forces]. Raschet i konstruirovaniye elementov zhelezobetonnykh konstruktsiy [Calculation and design of elements of reinforced concrete structures]. Ed. by A.A. Gvozdev. Moscow, Stroyizdat, 1964. Pp. 122–143. (in Russian)
10. Berg O.Ya. Fizicheskie osnovy teorii prochnosti betona i zhelezobetona [Physical foundations of concrete and reinforced concrete strength theory]. Moscow, Gosstroyizdat, 1962. 96 p. (in Russian)
11. Krasnoshchekov Yu.V. Prochnost' betona szhatykh zon izgibaemykh i vnetsentrenno-zagruzhennykh zhelezobetonnykh elementov [Concrete strength of compressed zones of bent and out-center-loaded reinforced concrete elements]. Vestnik SibADI [Vestnik SibADI]. 2006. No. 4. Pp. 130–133. (in Russian)
12. Zalesov A.S., Il'in O.F., Titov I.A. Napryazhennoe sostoyanie pered razrusheniem [The stress state before the destruction]. Novoe o prochnosti zhelezobetona [New about strength of concrete]. Ed. by K.V. Mikhaylov. Moscow, Stroyizdat, 1977. Pp. 76–93. (in Russian)
13. Gvozdev A.A., Zalesov A.S. K raschetu prochnosti naklonnykh sechenii zhelezobetonnykh elementov [The strength calculation of inclined section of reinforced concrete elements]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 1981. No. 11. Pp. 38–39. (in Russian)
14. Kiriakidi G.I., Sheina S.G. Raschet prochnosti naklonnykh sechenii zhelezobetonnykh elementov pri sovmestnom deystvii poperechnoy i prodol'noy sil [Strength calculation of inclined section of reinforced concrete elements under combined action of lateral and longitudinal forces]. Voprosy prochnosti, deformativnosti i treshchinostoykosti zhelezobetona [Questions of strength, deformability and crack resistance of reinforced concrete]. Rostov na Donu, 1979. Pp. 40–43. (in Russian)
15. Kolchunov V.I. K raschetu prochnosti zhelezobetonnykh elementov pri sovmestnom deystvii izgibayushchego momenta i poperechnoy sily [Calculation of strength of reinforced concrete elements under combined action of bending moment and shear force]. Nadezhnost' i kachestvo zhelezobetonnykh konstruktsiy [The reliability and quality of concrete structures]. Kuybyshev, 1977. Pp. 66–72. (in Russian)
16. Golyshev A.B., Kolchunov V.I., Smolyagov G.A. Eksperimental'nye issledovaniya zhelezobetonnykh elementov pri sovmestnom deystvii izgibayushchego momenta i poperechnoy sily [Experimental study of reinforced concrete elements under combined action of bending moment and shear force]. Issledovanie stroitel'nykh konstruktsiy i sooruzheniy [The study of structures and facilities]. Moscow, 1980. Pp. 26–42. (in Russian)
17. Zalesov A.S., Il'in O.F. Opyt postroeniya novoy teorii prochnosti balok v zone deystviya poperechnykh sil [The experience of building a new theory of strength of beams in the zone of action of transverse forces]. Novoe o prochnosti zhelezobetona [New about strength of concrete]. Ed. by K.V. Mikhaylov. Moscow, Stroyizdat, 1977. Pp. 115–140. (in Russian)
18. Zalesov A.S., Klimov Yu.A. Prochnost' zhelezobetonnykh konstruktsiy pri deystvii poperechnykh sil [Durability of reinforced concrete structures under the action of transverse forces]. Kiev, Budivel'nik, 1989. 104 p. (in Russian)

19. K u d z i s A.P. Zhelezobetonnye i kamennye konstruktsii [Concrete and stone structures]. In 2 parts. P. 1. Materialy, konstruirovaniye, teoriya i raschet [Materials, design, theory and calculation]. Moscow, Vysshaya shkola, 1988. 287 p. (in Russian)
 20. P u k e l i s P.I. O soprotivlenii betona szhatiyu pri sreze [The resistance of the concrete compression shear]. Materialy k VII Vsesoyuznoy konferentsii «Perspektivy razvitiya betona i zhelezobetona» [Materials of VII all-Union conference «Prospects of development of concrete and reinforced concrete»]. Vil'nyus, 1972. Pp. 52–58. (in Russian)
 21. B a s h i r o v Kh.Z. Zhelezobetonnye sostavnye konstruktsii transportnykh zdaniy i sooruzheniy: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk [Reinforced concrete composite structures of transport buildings and structures: author. dis. ... DSc]. Moscow, MGUPS, 2013. 40 p. (in Russian)
 22. K a r p e n k o S.N. Modeli deformirovaniya zhelezobetona v prirashcheniyakh i metody rascheta konstruktsiy: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk [Models of deformation of reinforced concrete in increments and methods of calculation of structures: author. dis. ... DSc]. Moscow, NIISF, 2010. 40 p. (in Russian)
 23. S i l a n t ' e v A.S. Soprotivlenie izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov po naklonnym secheniyam s uchetom vliyaniya prodol'nogo armirovaniya: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk [Resistance of reinforced concrete bending elements on the inclined cross sections taking into account the influence of longitudinal reinforcement: author. dis. ... DSc]. Moscow, MGSU, 2012. 20 p. (in Russian)
 24. Spravochnik proektirovshchika promyshlennych, zhilych i obshchestvennykh zdaniy i sooruzheniy. Raschetno-teoreticheskiy [Directory of designer industrial, residential and public buildings. Theoretical]. Ed. by A.A. Umanskiy. Moscow, Stroyizdat, 1972. 600 p. (in Russian)
 25. A l m a z o v V.O. Proektirovanie zhelezobetonnykh konstruktsiy po evronormam [Design of reinforced concrete structures in accordance with European standards]. Moscow, ASV, 2007. 216 p. (in Russian)
 26. S m i t h F., B r o w n R. The Shearing Strength of Concrete, Bull. Univ. of Washington. 1941. No. 106.
-

УДК 624.011.2 : 620.171.5 : 539.52

В.А. ЖИЛКИН

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО НАГЕЛЯ
В СИММЕТРИЧНОМ ДВУХРЕЗНОМ СОЕДИНЕНИИ
ПЛАСТИН ИЗ ДРЕВЕСИНЫ**

Нагельные соединения древесины находят широкое применение в практике строительства. Поэтому изучение их напряженно-деформированного состояния (НДС), совершенствование методов расчета и создание эффективных конструктивных элементов позволяет получить наиболее удачные конструктивные решения возводимых сооружений. В предлагаемой работе обсуждаются результаты численного исследования напряженно-деформированного состояния нагеля, соединяющего три одинаковые по толщине сосновые пластинки в программном продукте MSC Patran-Nastran-Marc. Задача решается в упругой постановке, нагель рассматривается как тело, лежащее на упругом ортотропном основании. Связь между нагелем и основанием односторонняя. Получены приближенные аналитические соотношения для контактных напряжений в зонах контакта нагеля и древесины, подтверждена правомочность расчетной схемы нагеля, предложенная советскими учеными в 30-х гг. прошлого столетия. Принимая за основу гипотезу Винклера, получена приближенная аналитическая зависимость для определения коэффициента постели.

Ключевые слова: МКЭ, MSC Patran-Nastran-Marc, древесина, ортотропные материалы, нагельные соединения, коэффициент постели.

Введение. Одним из видов связей, объединяющих конструктивные элементы в единую систему, являются стальные цилиндрические нагели, взаимодействующие с деформируемым основанием и нагруженные неизвестным реактивным усилием $q(z)$ со стороны основания [1, 2; Еврокод 5], проблема определения которого уже много десятков лет волнует инженеров и ученых и до сих пор продолжает оставаться одной из актуальнейших проблем строительной механики [3–9].

Простейшая гипотеза реактивного сопротивления основания в зонах его контакта с конструкцией была сформулирована Винклером в 1867 г. [10]: $q(z) = k(z) \cdot x(z)$, где $k(z)$ – коэффициент постели, $x(z)$ – упругая линия балки, z – координата вдоль оси балки. Эта гипотеза обладает рядом недостатков: основание оседает лишь в тех точках, которые находятся непосредственно под балкой; величина коэффициента k зависит от способа ее определения; гипотеза предполагает двусторонние связи основания с балкой.

В связи с этим были сделаны попытки отказаться от гипотезы Винклера и решить задачу расчета балки на упругом основании более точно (К. Вигардт [3], Маргрер [4], Жемочкин [5], Власов [6]), что привело к замене простого соотношения Винклера более сложными интегральными зависимостями. Решение конкретных задач по новым теориям стало значительно более

сложным, так как дифференциальное уравнение для прогибов превратилось в интегродифференциальное. Попытки усовершенствовать гипотезу Винклера привели к выражению связи прогиба и физических характеристик материала основания, содержащего два коэффициента постели [6].

Точный расчет несущей способности нагеля с учетом всего сложного комплекса взаимосвязанных напряжений смятия и изгиба довольно сложен и громоздок. Из-за трудностей вычисления коэффициентов постели инженеры в практической деятельности часто используют результаты экспериментальных и численных исследований, базирующихся на возможностях современных ЭВМ.

В данной работе численное исследование НДС нагеля было выполнено в упругой постановке в программном продукте MSC Patran-Nastran-Marc [11].

Исходные данные для конечно-элементного расчета. При выполнении численного моделирования соединения сосновых пластин на стальных нагелях было принято: расстояние от отверстия диаметром $D = 25$ мм до правого торца вдоль волокон древесины – $7D$, до «заделки» – $11D$, ширина образцов – $b = 6D$, толщина – $h = 2D$. Внешний вид нагельного соединения и конечно-элементная сетка представлены на рис. 1 (для наглядности пластины раздвинуты и на нагеле не показана КЭ сетка).

В качестве нагеля была выбрана стальная трубка ($E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0,3$) с внешним диаметром $D = 25$ мм и внутренним – $d = 9$ мм. Упругие постоянные сосны (модули упругости – E_i , модули сдвига – G_{ij} , коэффициенты поперечной деформации – μ_{ij} ; $i, j = 1, 2, 3$) соответствуют данным работы [12] (оси 1, 2, 3 – главные оси упругости):

$$E_1 = 16\,660 \text{ МПа}; E_2 = 1124 \text{ МПа}; E_3 = 582 \text{ МПа}; G_{12} = 1180 \text{ МПа};$$

$$G_{13} = 690 \text{ МПа}; G_{23} = 670 \text{ МПа}; \mu_{12} = 0,428; \mu_{21} = 0,029; \mu_{13} = 0,51;$$

$$\mu_{31} = 0,018; \mu_{23} = 0,599; \mu_{32} = 0,31.$$

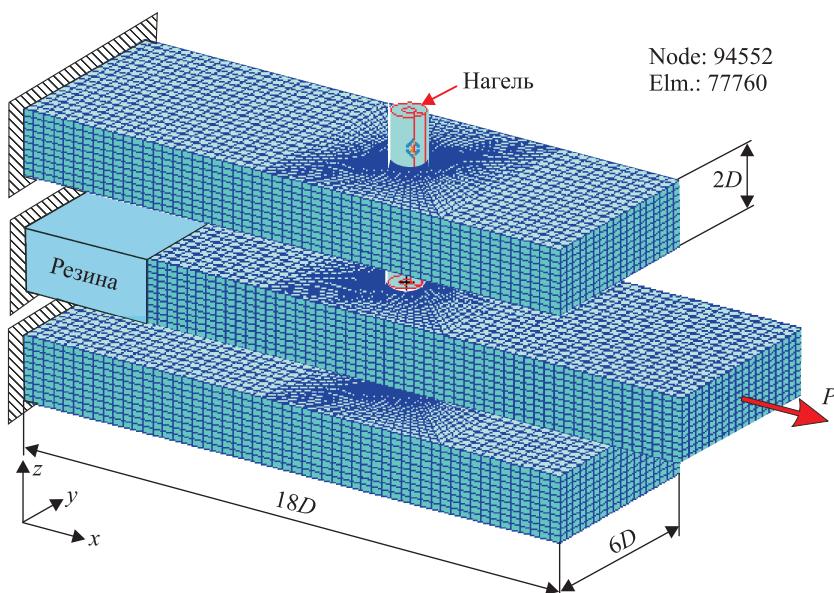


Рис. 1

К правому торцу средней пластины приложено усилие $P = 20,9 \cdot 10^3$ Н, равномерно распределенное по площади сечения $p = P/b \cdot h = 2,787$ МПа.

В начальный момент $t = 0$ средняя пластина не уравновешена, так как отсутствует контакт поверхностей нагеля и внутренней поверхности пластин, и потому расчет не начнется [11]. Для устранения этой проблемы к левому торцу этой пластины для обеспечения начальной итерации прикреплена резиновая пластинка с упругими характеристиками: $E_{\text{резины}} = 2$ МПа, $\mu_{\text{резины}} = 0,45$, что незначительно повлияет на деформированное состояние средней пластины.

Левым торцам наружных пластин были запрещены перемещения в направлении оси x и для узлов, лежащих в плоскости симметрии xoz , – перемещения в направлении оси y .

Численное исследование НДС нагеля. Изополя напряжений σ_x , σ_y , σ_z на внешней поверхности нагеля приведены на рис. 2. Границы пластин из древесины на поверхности нагеля указаны темными линиями. Максимальные напряжения σ_z действуют в среднем сечении нагеля (рис. 2) и составляют в сжатой зоне ~ 209 МПа (кривая А), в растянутой зоне ~ 198 МПа (кривая С), в нейтральном слое $-\sigma_z \geq 0$ (кривая В) (рис. 3, б). Ввиду симметрии задачи распределения напряжений σ_z вдоль образующих В и D совпадают.

Эпюра напряжений σ_z в поперечном сечении $z = 75$ мм приведена на рис. 4, вид которой позволяет утверждать, что для нагеля гипотеза плоских сечений остается в силе и что он находится в зоне упругих деформаций.

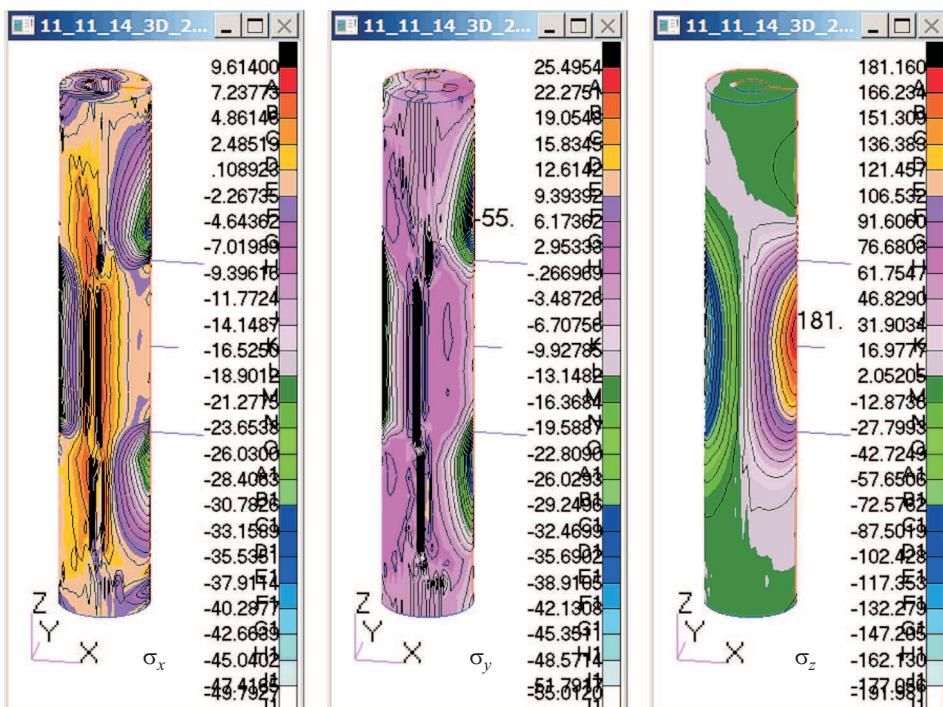


Рис. 2

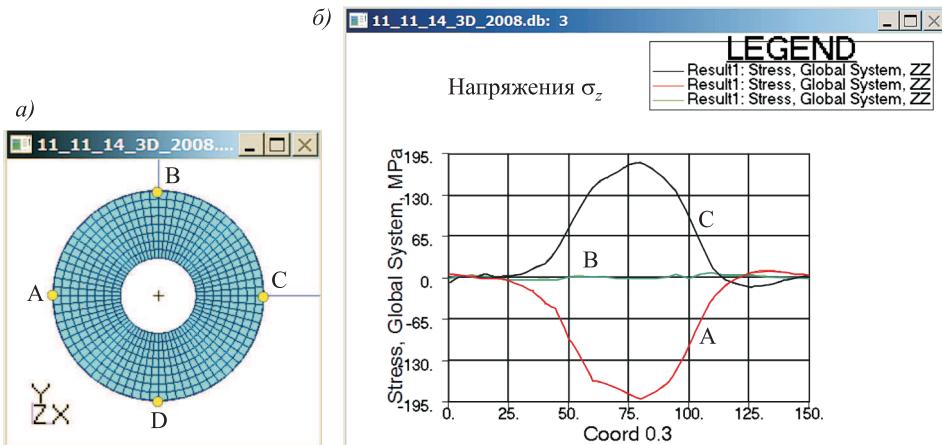


Рис. 3

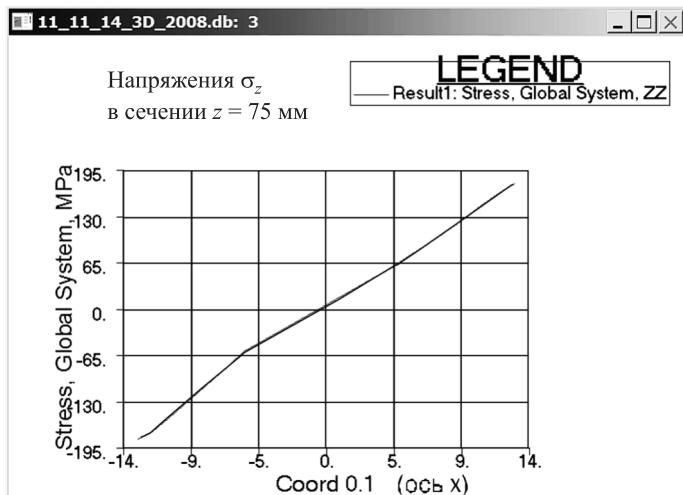


Рис. 4

Силы трения между нагелем и деревянными пластинами при выполнении КЭ расчета силы трения не вводились¹, а потому контактные напряжения представлены только нормальными напряжениями σ_r (σ_r – радиальные напряжения в цилиндрической системе координат).

На рис. 5 приведены графики распределения контактных напряжений $\sigma_x = \sigma_r$ вдоль образующих цилиндра А и С. Графики контактных усилий показаны на рис. 6, где сплошная кривая А – контактные усилия вдоль образующей А, пунктирная кривая С – контактные усилия вдоль образующей С.

Вдоль образующей С сжимающие напряжения σ_r действуют в пределах накладок. Вдоль образующей А сжимающие напряжения σ_r действуют только в пределах средней пластины. Участки образующей А в пределах

¹ Проектирование и расчет элементов деревянных конструкций: учеб. пособие / Калугин А.В., Фаизов И.Н., Тонков И.Л., Ушакова Н.П. Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2006. 78 с.

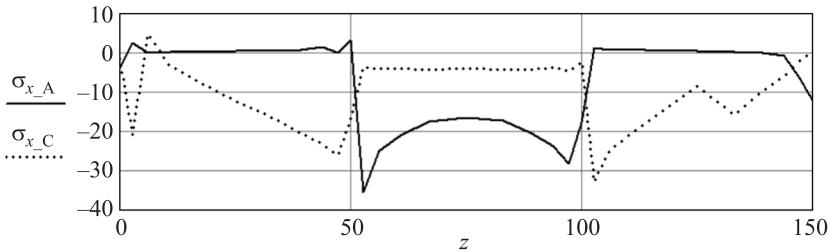


Рис. 5

накладок свободны от напряжений за исключением малых зон у торцов нагеля, в пределах которых действуют незначительные контактные напряжения, что подтверждается и графиком контактных усилий (рис. 6).

Вследствие изгиба нагеля распределение напряжений внутри гнезд накладок неравномерное. Оно больше со стороны средней пластины, а потому равнодействующие этих усилий смещены от середины накладок в сторону средней пластины. Учитывая, что по толщине пластин расположено 10 элементов, точки приложения равнодействующих напряжений в накладках найдем по формулам:

$$z_{R_лев} = \sum_{k=0}^{10} \sigma_{x_C_k} \cdot z_k \div \sum_{k=0}^{10} \sigma_{x_C_k} = 34,343 \text{ мм};$$

$$z_{R_прав} = \sum_{k=20}^{30} \sigma_{x_C_k} \cdot z_k \div \sum_{k=20}^{30} \sigma_{x_C_k} = 115,901 \text{ мм}.$$

Следовательно, если изменение контактных напряжений в пределах внешних пластин аппроксимировать прямой линией (в частности это и предлагалось в ранних работах по исследованию нагельных соединений [13]), то в первом приближении можно считать, что равнодействующие напряжения для левой и правой накладок приложены в центрах тяжести треугольных эпюор:

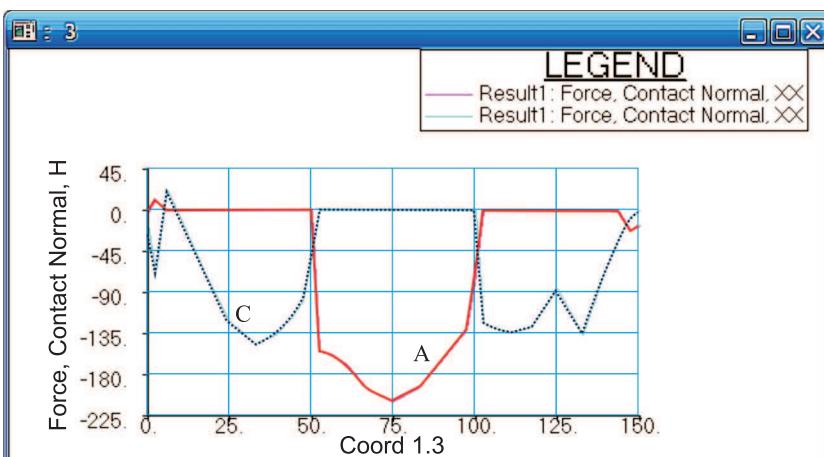


Рис. 6

$$z_{R_лев} = \frac{2}{3}2D = 33,333 \text{ мм}; \quad z_{R_прав} = 4D + \frac{1}{3}2D = 116,667 \text{ мм}.$$

Графики контактных напряжений σ_r в трех поперечных сечениях нагеля (в зоне средней пластины) $z = 52$ мм, $z = 75$ мм и $z = 98$ мм приведены на рис. 7.

Угол обхвата ϕ° линии контакта нагеля и древесины, пренебрегая малыми величинами напряжений σ_r , составил $\sim 140^\circ$. Прямые линии на рис. 7 не относятся к напряженному состоянию нагеля, а вызваны скачкообразным изменением номеров КЭ сеток.

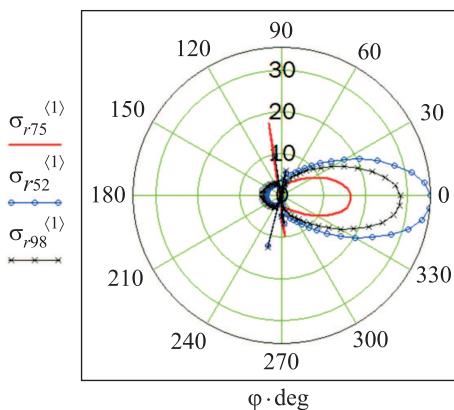


Рис. 7

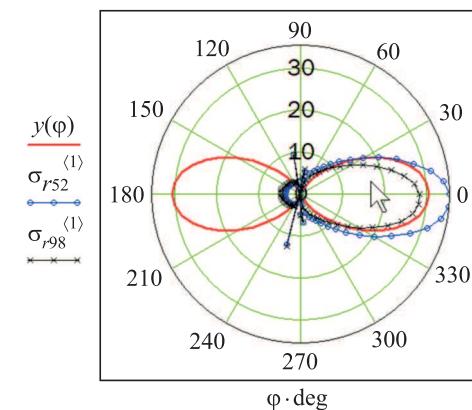


Рис. 8

Характер изменения напряжений в этой зоне для всех сечений подобен и в первом приближении может быть аппроксимирован кривой (рис. 8)

$$y(\phi) = \sigma_0 \cdot K \cdot [\cos(\phi \cdot \text{deg})]^4, \quad (1)$$

где σ_0 – напряжения σ_x на удалении от отверстия (в нашем случае $\sigma_0 = p = 2,787 \text{ МПа}$);

K – коэффициент концентрации в пластине с нагелем (~ 11);

ϕ – угловая координата (град.);

deg – коэффициент перевода градусов в радианы.

Величина напряжений σ_r в среднем сечении нагеля меньше по сравнению с крайними сечениями (см. рис. 5), но так как площади средних элементов в $\sim 2,59$ раз больше площади элементов, расположенных у внешних поверхностей пластин, то контактные усилия больше в средних сечениях (рис. 9, где цифры у параметра p соответствуют сечению нагеля с координатой z).

Контактные усилия направлены вдоль радиусов нагеля. Пolygonные контактные усилия вдоль оси нагеля, приведенные к плоскости xoz , определялись по формулам (72 – число элементов вдоль направляющей цилиндра, см. рис. 3):

$$F_k = \sum_{i=0}^{71} [(f^{(k)})_i \cdot \cos(\phi_i \cdot \text{deg})]; \quad q_k = F_k \div l_k; \quad l_k = (z_{k+1} - z_{k-1}) \div 2,$$

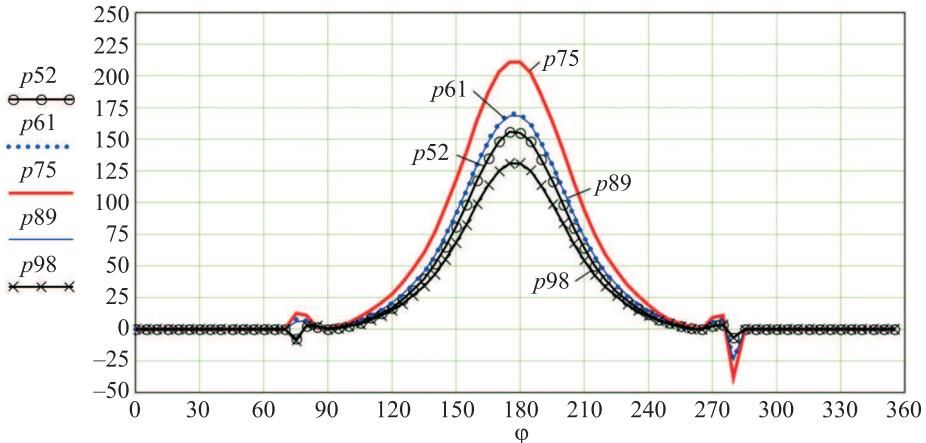


Рис. 9

где $f^{(k)}$ – компоненты контактных усилий в k -м сечении нагеля; q_k – погонная распределенная нагрузка для k -го узла КЭ сетки.

Просуммировав нагрузки на каждом из участков нагеля

$$R_{\text{лев}} = \sum_{k=0}^{10} F_k = -10239,24, \quad R_{\text{прав}} = \sum_{k=21}^{30} F_k = -10533,72,$$

$$R_{\text{сред}} = \sum_{k=11}^{20} F_k = 20753,67, \quad R_{\text{лев}} + R_{\text{прав}} = -20772,96,$$

можно констатировать, что для средней пластины реакция нагеля $R_{\text{сред}}$ практически равна внешнему воздействию $P = 20,9 \cdot 10^3$, реакции накладок $R_{\text{лев}}$ и $R_{\text{прав}}$ на действие средней пластины практически не превышают величины $P/2$.

Эпюра погонной распределенной нагрузки по результатам КЭ расчета приведена на рис. 10.

Таким образом, для рассматриваемого нагельного соединения на основе результатов КЭ анализа в первом приближении можно считать, что в пределах центральной пластины распределенная нагрузка постоянна и равна

$$q_{\mathcal{E}} = \frac{R_{\text{сред}}}{h} = \frac{209753,67}{50} = 415,07 \text{ Н/мм},$$

а в пределах внешних пластин распределяется по закону треугольника как показано на рис. 11 [13].

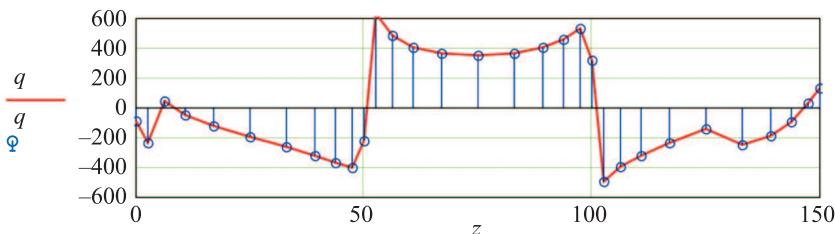


Рис. 10

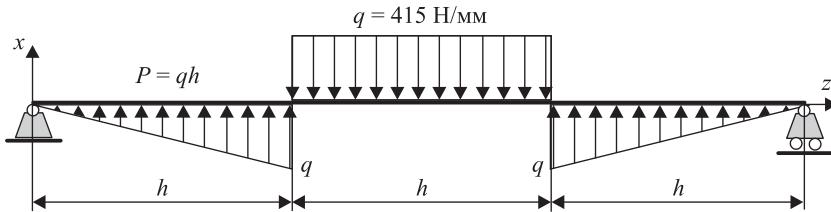


Рис. 11

Запишем выражения упругой линии нагеля на каждом из участков, воспользовавшись методом начальных параметров:

$$\theta_0 = -\frac{Ph^2}{6EJ}; \quad k = \frac{q}{h}; \quad x_{лев}(z) = \frac{1}{EJ} \left(\theta_0 EJz + k \frac{z^5}{5!} \right);$$

$$x_{сред}(z) = \frac{1}{EJ} \left(\theta_0 EJz + k \frac{z^5}{5!} - q \frac{(z-h)^4}{4!} - k \frac{(z-h)^5}{5!} - q \frac{(z-h)^4}{4!} \right);$$

$$x_{прав}(z) = \frac{1}{EJ} \left(\theta_0 EJz + k \frac{z^5}{5!} - q \frac{(z-h)^4}{4!} - k \frac{(z-h)^5}{5!} - q \frac{(z-h)^4}{4!} + q \frac{(z-2h)^4}{4!} + q \frac{(z-2h)^4}{4!} - k \frac{(z-2h)^5}{5!} \right).$$

Объединяя вышеприведенные выражения в одно, получим уравнение упругой линии нагеля:

$$x(z) = \begin{cases} x_{лев}(z) & \text{if } 0 \leq z \leq h, \\ x_{сред}(z) & \text{if } h \leq z \leq 2h, \\ x_{прав}(z) & \text{if } 2h \leq z \leq 3h, \end{cases}$$

$$x(0) = 0; \quad x(2h/2) = 0,133 \text{ мм}; \quad x(3h) = 0,$$

из которого следует, что граничные условия на опорах выполняются, а максимальный прогиб равен $x_{max} = -0,133$ мм, в то время как из КЭ расчета нагельного соединения следует $x_{max_МКЭ} = -0,139$ мм. На рис. 12 приведена упругая линия нагеля, вычисленная по формулам сопротивления материалов – $x(z)$ и МКЭ – d .

На рис. 12 $x(z)$ – функция, зависящая от координаты z , изменяющейся с шагом 0,1 мм; $z1$ и d – 30-компонентные вектора координат узлов КЭ сетки и их перемещений.

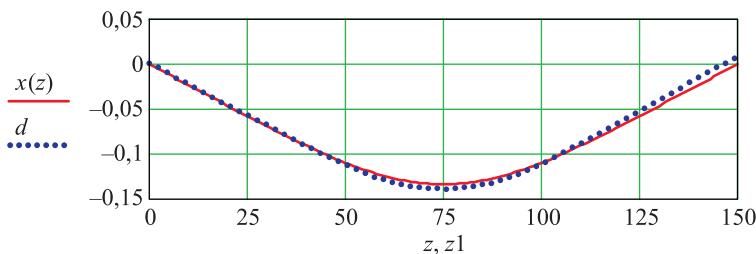


Рис. 12

Так как совпадение кривых $x(z)$ и d удовлетворительное, то расчетная схема, приведенная на рис. 11, не противоречит КЭ расчету. Для других нагельных соединений, наверное, при упругой работе соединения можно использовать подобную расчетную схему, варьируя положением опор в зависимости от того, насколько и в каком месте сминается древесина, беря за основу погонное усилие, приложенное к нагелю в пределах средней пластины.

В соответствии с гипотезой Винклера при известных функциях $q_0(z)$ (см. рис. 11) и $x(z)$ коэффициент постели определяется по формуле $k(z) = -q_0(z)/x(z)$, график которого для рассматриваемого случая приведен на рис. 13. Поведение графика позволяет считать коэффициент постели постоянной величиной как в пределах накладок, так и в пределах средней пластины.

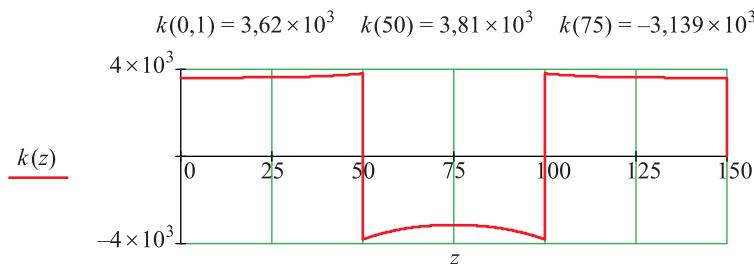


Рис. 13

Определим этот коэффициент. Для материала сосны с принятыми упругими характеристиками найдем величину $a_{11}(\varphi)$, обратную модулю упругости E_r (в полярной системе координат) [14]:

$$a_{11}(\varphi) = \frac{\sin(\varphi)^4}{E_1} + \left(\frac{1}{G_{12}} - \frac{2\mu_{12}}{E_1} \right) \sin(\varphi)^2 \cos(\varphi)^2 + \frac{\cos(\varphi)^4}{E_2}.$$

В связи с зависимостью модуля упругости E_r от угла φ коэффициент постели k для точек внешнего контура поперечного сечения нагеля будет переменной величиной. Если пренебречь изменением формы нагеля, то при перемещении оси нагеля на величину X все точки поперечного сечения нагеля переместятся на ту же величину X . Так как мы пренебрегли силами трения между нагелем и древесиной, то контактные усилия будут направлены вдоль радиуса нагеля. Перемещения древесины в этом направлении составят $x(\varphi) = X\cos(\varphi)$ (рис. 14).

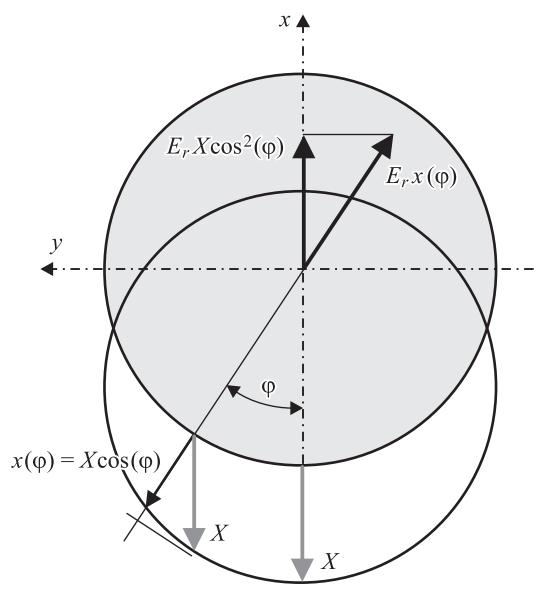


Рис. 14

Погонная реакция основания в окрестности рассматриваемой точки нагеля будет равна $E_r \cdot x(\phi)$. А так как реакции всех точек контура нагеля приводятся к плоскости xoz , то для конкретной точки реакция $E_r \cdot X(z) \cdot \cos^2(\phi)$. Кроме того, учтем, что при плоской деформации вместо модуля упругости E_r следует использовать выражение $E_r / (1 - \mu_{r\theta}^2)$. Суммируя такие реакции для всех контурных точек, получим

$$q(z) = -\frac{X(z)}{(1 - \mu_{r\theta}^2)} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\cos^2(\phi)}{a_{11}(\phi)} d\phi,$$

т.е. коэффициент постели определяется зависимостью

$$k = \frac{1}{(1 - \mu_{r\theta}^2)} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\cos^2(\phi)}{a_{11}(\phi)} d\phi \quad (2)$$

и в нашем случае он равен $3,635 \cdot 10^3$, что находится в пределах изменения коэффициента постели, приведенного на рис. 11.

Выводы. 1. Для рассматриваемого нагельного соединения на основе результатов КЭ анализа можно считать, что при упругой работе элементов соединения в пределах центральной пластины распределенная нагрузка постоянна, а в накладках изменяется по закону треугольника.

2. Равнодействующие контактных напряжений в накладках проходят через центры тяжести треугольных эпюр.

3. Контактные напряжения в поперечных сечениях нагеля приближенно описываются зависимостью (1). Угол охвата нагеля контактными напряжениями составляет порядка 140° .

4. Коэффициент постели в гнездах нагельного соединения можно определить по приближенной формуле (2).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коченов В.М. Несущая способность элементов и соединений деревянных конструкций. М., 1953. 319 с.
2. Калугин А.В. Деревянные конструкции. М.: АСВ, 2003. 224 с.
3. Wieghardt K. Über den Balken auf nachgiebiger Unterlage // Zeitschrift f. angew Mathematik und Mechanik. 1922. Vol. 2.
4. Marguegge K. Spannungsverteilung und Wellenausbreitung in der kontinuierlich gestutzten Flächen // Ingenieur Archiv. 1933. Vol. IV.
5. Жемочкин Б.Н. Плоская задача расчета бесконечно длинной балки на упругом основании. Расчет балок на упругом полупространстве и полуплоскости. М.: Изд. Воен.-инж. акад. РККА, 1937. 141 с.
6. Власов В.З., Леонтьев Н.Н. Балки, плиты и оболочки на упругом основании. М.: Физматлит, 1960. 497 с.
7. Клепиков С.Н. Расчет конструкций на упругом основании. Киев: Будівельник, 1967. 185 с.
8. Короткин Я.И., Постнов В.А., Сиверс Н.Л. Строительная механика корабля и теория упругости. Т.1. Л.: Судостроение, 1968. 423 с.
9. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в 3 т. Т. 1 / под ред. д-ра техн. наук, проф. И.А. Биргера и чл.-кор. АН Латв. ССР Я.Г. Пановко. М.: Машиностроение, 1968. 831 с.

10. Winkler E. Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit. 1867.
11. Жилкин В.А. Азбука инженерных расчетов в MSC Patran-Nastran-Marc. Челябинск; СПб.: Проспект Науки, 2013. 574 с.
12. Ашкенази Е.К., Ганов Э.В. Анизотропия конструкционных материалов: справочник. Л.: Машиностроение, 1980. 247 с.
13. Николай Б.Л. Теория расчета нагельных сопряжений в деревянных конструкциях. Харьков: ОНТИ, 1935. 65 с.
14. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. М.: Наука, 1977. 416 с.

Жилкин Виталий Афанасьевич, д-р техн. наук, проф.;

E-mail: zhilkin_vitalii@mail.ru

Южно-Уральский аграрный университет, г. Троицк

Получено 21.07.18

Zhilkin Vitaliy Afanas'evich, DSc, Professor; E-mail: zhilkin_vitalii@mail.ru

South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

NUMERICAL STUDY OF THE DEFORMED CONDITIONS OF CYLINDRICAL NAGEL IN SYMMETRIC TWO-SAD CONNECTION OF PLATES FROM WOOD

Wood nagelnye compounds are widely used in construction practice. Therefore, the study of their stress-strain state, the improvement of calculation methods and the creation of effective structural elements make it possible to obtain the most successful constructive solutions of erected structures. In the present paper, the results of a numerical study of the stress-strain state of the nugget connecting three identical in thickness pine plates in the software product MSC Patran-Nastran-Marc are discussed. The problem is solved in an elastic formulation, the naked is considered as a body lying on an elastic orthotropic base, the connection between the nagel and the base is one-sided. Approximate analytical relations for contact stresses in contact zones of nagel and wood are obtained, the validity of the calculated scheme of nagel, proposed by Soviet scientists in the 30s of the last century, was confirmed. Taking as a basis the Winkler hypothesis, an approximate analytical dependence was obtained to determine the coefficient of the bed.

К e y w o r d s: MCE, MSC Patran-Nastran-Marc, wood, orthotropic materials, nagelnye compounds, coefficient of bed.

REFERENCES

1. Kochenov V.M. Nesushchaya sposobnost' elementov i soedineniy derevyannykh konstruktsiy [Bearing capacity of elements and joints of wooden structures]. Moscow, 1953. 319 p. (in Russian)
2. Kalugin A.V. Derevyannye konstruktsii [Wooden constructions]. Moscow, ASV, 2003. 224 p. (in Russian)
3. Wieghardt K. Über den Balken auf nachgiebiger Unterlage. Zeitchrift f. angew Mathematik und Mechanik. 1922. Vol. 2.
4. Marguerre K. Spannungsverteilung und Wellenausbreitung in der kontinuierlich gestutzten Flächen. Ingenieur Archiv. 1933. Vol. IV.
5. Zhemochkin B.N. Ploskaya zadacha rascheta beskonechno dlinoi balki na uprugom osnovanii. Raschet balok na uprugom poluprostranstve i poluploskosti [The flat problem of calculating an infinitely long beam on an elastic base. Calculation of beams on an elastic half-space and a half-plane]. Moscow, Military Engineering Academy of the Red Army, 1937. 141 p. (in Russian)

6. Vlasov V.Z., Leont'ev N.N. Balki, plity i obolochki na uprugom osnovanii [Beams, plates and shells on an elastic foundation]. Moscow, Fizmatlit, 1960. 497 p. (in Russian)
 7. Klepikov S.N. Raschet konstruktsiy na uprugom osnovanii [Calculation of structures on an elastic foundation]. Kiev: Budivelnik, 1967. 185 p. (in Russian)
 8. Korotkin Ya.I., Postnov V.A., Sivers N.L. Stroitel'naya mekhanika korablya i teoriya uprugosti [Building mechanics of the ship and the theory of elasticity]. T.1. Leningrad, Shipbuilding, 1968. 423 p. (in Russian)
 9. Prochnost', ustoychivost', kolebaniya. Spravochnik v 3 t. T. 1 [Strength, stability, vibrations. Handbook in three volumes]. Vol. 1. Moscow, Mechanical Engineering, 1968. 831 p. (in Russian)
 10. Winkler E. Die Lehre von der Elastizitat und Festigkeit. 1867.
 11. Zhilkin V.A. Azbuka inzhenernykh raschetov v MSC Patran-Nastran-Marc [ABC of engineering calculations in MSC Patran-Nastran-Marc]. Chelyabinsk; Saint-Petersburg, Prospect of Science, 2013. 574 p. (in Russian)
 12. Ashkenazi E.K., Ganov E.V. Anizotropiya konstruktionsykh materialov: spravochnik [Anisotropy of structural materials: reference book]. Leningrad, Mechanical Engineering, 1980. 247 p. (in Russian)
 13. Nikolaev B.L. Teoriya rascheta nagel'nykh sopryazheniy v derevyannikh konstruktsiyakh [Theory of calculating nail conjugations in wooden structures]. Kharkov, ONTI, 1935. 65 p. (in Russian)
 14. Lezhnitskiy S.G. Teoriya uprugosti anizotropnogo tela [Theory of elasticity of an anisotropic body]. Moscow, Nauka, 1977. 416 p. (in Russian)
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ



УДК 691:699.86

А.М. ЖЖОНОХА

НИЗКОВАКУУМНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПАНЕЛИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Низковакуумные изоляционные панели (НВИП) являются эффективной альтернативой обычным (невакуумированным) теплоизоляционным материалам, так как обладают более низким коэффициентом теплопроводности. Рассмотрена возможность применения микрокремнезема – отхода алюминиевого производства и синтетического аморфного диоксида кремния в качестве наполнителя в вакуумной изоляционной панели. Результаты дифференциально-термического и рентгенофазового анализа показали наличие аморфной фазы, отсутствие физико-химических превращений при нагревании до 1000 °C и удаление свободной воды при температуре до 105 °C у рассматриваемых порошков. Исследование структуры поверхности частиц синтетического диоксида кремния и микрокремнезема – отхода алюминиевого производства методом электронной микроскопии подтверждает наличие развитой поровой структуры частиц полидисперсного порошка, что соответствует системе с большой удельной поверхностью. Содержание значительного числа частиц и пор нанометровых размеров дает возможность использования этих материалов в качестве наполнителя вакуумных изоляционных панелей. На основе порошков диоксида кремния были разработаны составы и технология изготовления вакуумных теплоизоляционных панелей.

Ключевые слова: вакуумные изоляционные панели, рентгенофазовый анализ, дифференциально-термический анализ, отходы алюминиевого производства.

В связи с регулярным и очень быстрым ростом цен на энергоресурсы становится актуальным вопрос о снижении энергозатрат. Сегодня все большую популярность для поддержания необходимого микроклимата в квартирах, домах и офисах приобретает утепление стен и фасадов зданий. Утепление дома ведет не только к уменьшению потери теплоты во внутренних помещениях, но и гарантирует снижение теплообмена в теплое время года, способствуя поддержанию стабильной комфортной температуры. Применение теплоизоляции способствует защите стен от конденсата и сырости, которые могут вызвать появление плесени и грибка.

Потеря тепловой энергии помещений происходит за счет высокого коэффициента теплопроводности ограждающих конструкций, а также через гра-

витационную вентиляцию. Эти факторы ранее не учитывались в строительстве, поскольку энергоносители были относительно недорогими, но в процессе их удорожания возник вопрос сбережения тепла в помещениях. Если ранее утепления зданий добивались путем увеличения толщины стен, то в настоящее время с появлением современных теплоизолирующих материалов в этом отпала необходимость. Такие материалы легкие, обладают высокой морозостойкостью и низкой теплопроводностью, применяются не только при строительстве новых зданий, но и при ремонте существующих [1]. Новые перспективы в улучшении теплозащиты зданий и снижении теплопотерь через ограждающие конструкции связаны с разработкой и использованием вакуумированных теплоизоляционных материалов нового поколения с коэффициентом теплопроводности на порядок меньшим, чем у традиционной теплоизоляции [2, 3].

Получение плитного материала из сыпучих и порошковых материалов путем технологии вакуумирования является перспективной технологией изготовления утеплителя. Вакуумирование способствует обеспечению долговечности в результате снижения отрицательного воздействия, вызываемого эффектом конденсации водяных паров [4]. В качестве основного компонента наполнения вакуумных изоляционных панелей используются высокопористые материалы – полидисперсные зернистые порошки, физические основы теплопроводности которых подробно рассмотрены в работах Г.Н. Дульнева [5, 6]. Теплопроводность дисперсных систем определяется многими факторами: теплопроводностью материала твердого каркаса, видом и конвекцией газа в поровом пространстве, его давлением, излучением, пористостью каркаса и его отдельных частиц, также теплопроводностью контакта между этими частицами [6–10].

Создание вакуумной теплоизоляционной панели основано на законах физики, утверждающих, что отсутствие или снижение давления внутри пористого материала повышает его теплоизоляционные свойства.

Исследуемая низковакуумная изоляционная панель изготовлена на основе наполнителя открытой пористой структуры, заключенного в газонепроницаемую оболочку и имеет три основных компонента:

«наполнитель», который придает механическую прочность и теплоизоляционные свойства путем предотвращения свободного потока газа (молекул воздуха) и тем самым снижает возможность передачи теплоты через конвективную составляющую теплопроводности воздуха. В идеале базовый материал должен иметь открытую ячеистую структуру с очень маленьким размером пор и высокой устойчивостью к инфракрасному излучению;

«газонепроницаемый барьер», который служит барьером для воздуха и паров и является корпусом для основного материала. Термовые свойства вакуумной панели и ее долговечность сильно зависят от характеристик этого материала;

«инфракрасный глушитель», который добавляется в наполнитель для снижения лучистой составляющей теплопроводности.

Оболочки современных вакуумных изоляционных панелей содержат алюминиевую фольгу толщиной 3–10 мкм. На нее для увеличения механической прочности с обеих сторон наносят тонкий слой пластика, на внутреннюю поверхность – пластик с низкой температурой плавления. При изготовлении панели фольгу заваривают под воздействием температуры и давления. Такие оболочки имеют хорошие барьерные характеристики. Наполнитель

поддерживает стенки, ограничивает движение оставшихся газовых молекул и обеспечивает заданную форму панели. Ее теплофизические характеристики и срок службы определяются свойствами наполнителя, начальным уровнем вакуума, проницаемостью оболочки, эффективностью адсорбентов, размерами и условиями эксплуатации. Такие панели в Западной Европе уже производят и используют в строительной практике.

Технология вакуумных изоляционных панелей стала коммерчески доступной с появлением дешевых наполнителей на основе легких пористых материалов. В Германии, США получены материалы наполнителей с коэффициентом теплопроводности $0,0022 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ и плотностью меньше $10 \text{ м}^3/\text{кг}$, теплофизические характеристики изготовленных изоляционных панелей в 5–10 раз превосходят характеристики лучших теплоизоляционных материалов. Их использование при строительстве зданий позволит увеличить полезную площадь жилья за счет уменьшения толщины утеплителя, снизив при этом уровень теплопотерь в 5–6 раз [1].

В отечественных разработках в качестве наполнителя вакуумных теплоизоляционных панелей был использован пирогенный кремнезем.

Уменьшение теплопотерь в зданиях обеспечивается за счет использования новых эффективных, в том числе и зернистых, теплоизоляционных материалов на основе отходов промышленности [11]. Использование отходов промышленности позволяет расширить сырьевую базу для производства новых теплоизоляционных строительных материалов и решить проблемы экологической безопасности. В работе использовался микрокремнезем – отход производства кристаллического кремния ООО «Братский завод ферросплавов», ежегодный выход которого достигает 30 тыс. т. Радиометрические исследования, выполненные ранее [12], свидетельствуют, что микрокремнеземистые отходы, в том числе в виде пыли, нетоксичны, отвечают гигиеническим требованиям по содержанию радионуклидов и являются, таким образом, экологически безопасным сырьем. Авторами установлено, что на основе микрокремнезема БрАЗа может быть получен наполнитель, пригодный для изготовления вакуумных теплоизоляционных панелей. Проведение исследований по получению теплоизоляционного изделия на основе отходов производства является актуальным.

В табл. 1 приведены основные физико-технические свойства микрокремнезема БрАЗа [13].

Гранулометрический состав МК по данным технического паспорта отходов БрАЗа представлен в табл. 2.

Т а б л и ц а 1. Физико-технические свойства микрокремнезема

Материал	Плотность, кг/м ³	Удельная поверхность, м ² /г	Влажность, %	Водородный показатель, pH
Микрокремнезем	280	34	3	6

Т а б л и ц а 2. Гранулометрический состав микрокремнезема

Содержание по массе, %	Размер частиц, мкм менее							
	0,1	0,1–0,2	0,2–0,4	0,4–1,0	1,0–10	10–50	50–100	более 100
Микрокремнезем	8,5	34,5	30,0	8,0	2,5	1,0	5,0	11,0

Таблица 3. Химический состав микрокремнезема

Соединение	Содержание соединений, мас. %							
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O + K ₂ O	Al ₂ O ₃	SO ₂	SiC
Микрокремнезем	90,0–94,0	1–3	0,7–1,4	0,2–0,4	0,1–0,5	0,7–1,5	До 0,09	До 3

В табл. 3 приведен химический состав микрокремнезема (по данным БрАЗы) [14].

Дифференциально-термический анализ проводился на приборе «СТА-ТГ / ДСК» марки «STA 449 F1 Jupiter». Для каждого вида образца были получены кривые ДСК, ДТГ и ТГ в интервале температур 25–1000 °C. Скорость нагрева и охлаждения 10 °C/мин; рентгенофазовый анализ сделан с помощью дифрактометра «D8 ADVANCE». Исследование микроструктуры образцов проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа «JEOL JSM 7001F». Измерение теплопроводности разработанных вакуумных изоляционных панелей проведено методом стационарного теплового потока с применением измерителя теплопроводности «ИТП МГ4 250».

На основании рентгенофазового анализа установлено, что микрокремнезем БрАЗы преимущественно состоит из рентгеноаморфной фазы, о чем свидетельствует размытый пик в области 180–300°. Кристаллическая фаза в образце микрокремнезема практически отсутствует и представлена β -кварцем ($d = 0,425$; $d = 0,335$; $d = 0,245$; $d = 0,154$), карборундом ($d = 0,251$; $d = 0,154$) и графитом ($d = 0,335$) (рис. 1).

Дериватографические исследования микрокремнезема показали общую потерю массы пробы при нагреве до 1000 °C равную 11,84 %, в том числе до 220 °C – 8,5 %, от 220 до 1000 °C – 3,1 %. Потеря массы на первом этапе происходит за счет удаления из образца свободной воды. На втором этапе происходит плавное уменьшение массы образцов без видимых физико-химических превращений (рис. 2).

Исследование структуры поверхности частиц микрокремнезема проведено методом электронной микроскопии при увеличении в 50 000 и 35 000 раз. На микрофотографии (рис. 3) видно, что сферы SiO₂ не сплошные, а состоят из нескольких плотноупакованных сфер меньшего размера. Малые сферы могут иметь подобную субструктуру. Результатом такой укладки сфе-

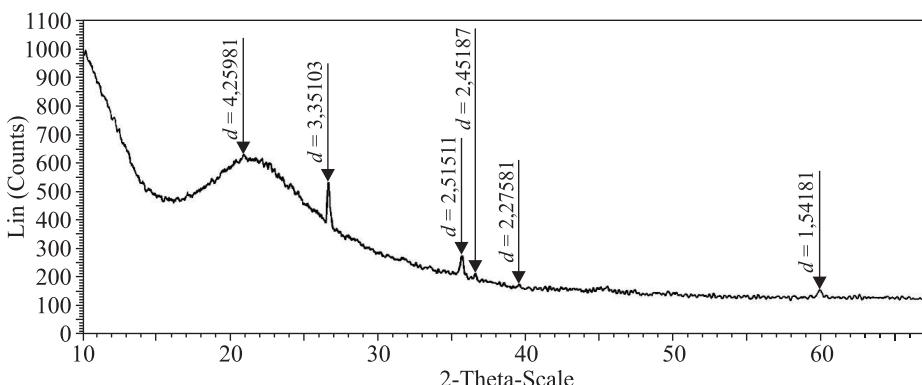


Рис. 1. Дифрактограмма микрокремнезема

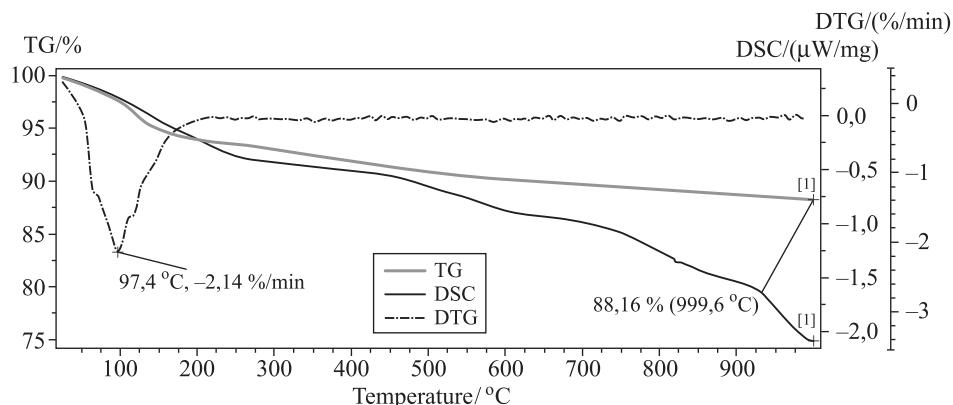


Рис. 2. Термограмма микрокремнезема БрАЗа

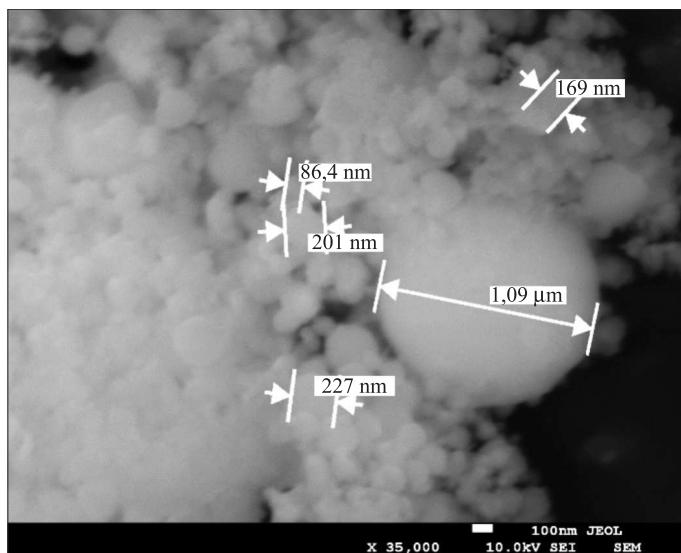


Рис. 3. Микроструктура частиц микрокремнезема БрАЗа

рических частиц диоксида кремния будет наличие тетраэдрических и октаэдрических пустот различного размера: ~ 40–80 нм, 7–14 нм и 2–4 нм. Полученные результаты согласуются с данными работ [15–17], в которых обсуждается оболочечная модель строения частиц аморфного диоксида кремния.

Микрофотографии синтетического диоксида кремния (рис. 3) показали, что размеры сферических субчастиц диоксида кремния заметно меньше 10 нм и могут изменяться от образца к образцу и не всегда регистрироваться методом электронной микроскопии. Данный вывод согласуется с результатами Р. Айлера [18] и Н. Гиеске [15], которые полагают, что размер субчастиц составляет менее 5 нм. Наблюдаются агломераты частиц аморфного диоксида кремния в виде диффузных шароподобных образований.

Для исследования влияния наполнителя на основе микрокремнезема БрАЗа на теплопроводность вакуумной теплоизоляционной панели были изготовлены опытные образцы. В качестве специальной добавки использован мелкодисперсный порошок TiO_2 в качестве инфракрасного замутни-

Таблица 4. Технические характеристики панелей

Показатели	Единица измерения	Значения		
		NANOPOR-VIP	DIATOMIT- VIP	MK-LVIP
Теплопроводность	Вт/(м · К)	0,018	0,02	0,02
Плотность	кг/м ³	180–250	150–300	300–350
Допуск длины и ширины	мм	±2	±2	±2
Допуск по толщине	мм	±0,5	±0,5	±3
Огнестойкость		A1	A1	A1
Толщина	мм	10–30	10–50	10–50

теля. Дозированное количество порошка-наполнителя, диоксида титана перемешивалось, после чего полученная смесь засыпалась в формы и прессовалась. Готовые плитки помещались в воздухонепроницаемые оболочки и отправлялись в вакуумную упаковочную машину типа «DZQ-410 2E». После вакуумирования оболочка изделия запаивалась по торцам.

При относительно неглубоком вакууме (0,085 МПа) теплопроводность опытных образцов НВИП составила 0,017– 0,02 Вт/(м · К). Благодаря тому что наружный слой НВИП покрывается негорючей стеклотканью, а наполнитель из диоксида кремния не горюч, панели соответствуют классу огнестойкости А. Технические характеристики предлагаемых авторами панелей MK-LVIP, а также зарубежных теплоизоляционных панелей NANOPOR-VIP и отечественных DIATOMIT-VIP [19] представлены в табл. 4.

Полученные результаты испытаний дают основания считать, что для изготовления НВИП можно использовать не только промышленно выпускаемый порошок, но и менее дорогие порошки микрокремнезема – отхода производства кристаллического кремния ООО «Братский завод ферросплавов».

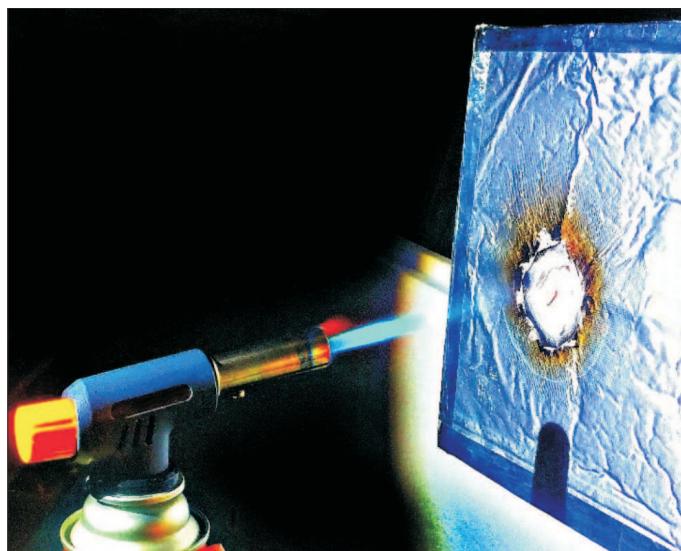


Рис. 4. НВИП под воздействием открытого пламени газовой горелки

Заключение. Проведенные исследования микрокремнезема Братского алюминиевого завода подтверждают наличие развитой поровой структуры частиц полидисперсных порошков, что соответствует системе с большой удельной поверхностью. Дисперсные микрокремнеземы – отход производства кристаллического кремния ООО «Братский завод ферросплавов», пригодны для изготовления низковакуумных изоляционных панелей НВИП. Использование отходов местного производства Сибирского федерального округа в перспективе может стать основой производства ВИП высокого качества с низкой себестоимостью. Благодаря своей герметичности НВИП не изменяют свои теплоизоляционные свойства при работе в среде с повышенной влажностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фролов Д.И., Сотникова К.Н., Карташов А.В., Фролова В.С. Внедрение мероприятий по снижению энергозатрат здания // Инж. системы и сооружения. 2012. № 2. С. 34–37.
2. Васильев Л.Л. Теплопроводность неметаллических зернистых систем // Строит. теплофизика. М.: Энергия, 1966. С. 48–56.
3. Данилевский Л.Н. Вакуумная теплоизоляция и перспективы использования в строительстве // Архитектура и стр-во. 2006. № 5. С. 114 –117.
4. Назиров Р.А., Новиков Н.С., Жжоных А.М. Исследование влияния низкого вакуума на теплопроводность различных строительных материалов // Science Time. 2016. № 1 (25). С. 349–356.
5. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Справочная книга. Л.: Энергия, 1974. 264 с.
6. Дульнев Г.Н., Новиков В.В. Процессы переноса в неоднородных средах. Л.: Энергоатомиздат, 1991. 248 с.
7. Diefernbach N. Modernisierung von Zweifamilienhäusern auf unterschiedliche energetische Standards unter Einsatz von Großelementen mit Vakuumdämmung // 10 Internationale Passivhaustagung 2006. Hannover, 2006. Р. 63–68.
8. Черкашин А., Пилипенко В., Данилевский Л. Порошковая вакуумная теплоизоляция // Архитектура и стр-во. 2011. № 1. 219 с.
9. Алиев Ф.Э., Ахмеджанова Н.Х., Криворотов В.Ф., Холмансов И.Н. и др. Теплопроводность опала, заполненного ионным проводником Li_2O_3 // ФТТ. 2003. Т. 45. Вып. 1. С. 60–67.
10. Гладков С.О. Газокинетическая модель теплопроводности гетерогенных веществ // Журн. техн. физики. 2008. Т. 78. Вып. 7. С. 12–15.
11. Аверкова А.В. Получение пористых теплоизоляционных материалов на основе микрокремнезема // Проблемы геологии и освоения недр. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. С. 820–822.
12. Гершанович Г.Л. Добавка микрокремнеземистых отходов ЭТЦКК Братского алюминиевого завода в строительные растворы и другие цементные композиции // Отчет о научно-исследовательской работе по теме № 7. Изв. № ОИСМ УП-1068. Братск, 1990. 768 с.
13. Пат. Российской Федерации RU2283292. Способ приготовления микрограмул комплексной добавки в цементные композиты / С.А. Белых, А.М. Фадеева, А.Ю. Мясникова, В.Г. Попова. Заявл. 04.12.2005; опубл. 10.09.2006.
14. Лохова Н.А. Обжиговые материалы на основе микрокремнезема. Братск: Братский ГТУ, 2002. 163 с.
15. Giesche H. Synthesis of monodispersed silica powders // Journal of the European Ceramic Society. 1994. Vol. 14. No. 3. P. 189–204.

16. Philipse A.P. Quantitative aspects of the growth of (charged) silica spheres // Colloid and Polymer Science. 1988. Vol. 266. No. 12. P. 1174–1180.
17. Bogush G.H., Zukowski IV C.F. Uniform silica particle precipitation: an aggregative growth model // Journal of Colloid and Interface Science. 1991. Vol. 142. No. 1. P. 19–34.
18. Hier R. The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties and Biochemistry of Silica. Wiley-Interscience, 1979. 866 p.
19. Селяев В.П., Неверов В.А., Куприяшкина Л.И., Маштаев О.Г. Вакуумные теплоизоляционные панели на основе модифицированного диатомита // Науч.-техн. и произв. журн. 2014. С. 59–62.

Жжоных Алексей Максимович, асп.; E-mail: aspirantura.sfu@mail.ru

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Получено после доработки 21.06.18

Zhzhonykh Alexey Maksimovich, Post-graduate Student;

E-mail: aspirantura.sfu@mail.ru

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

BASED LOW VACUUM HEAT INSULATING PANELS ON ALUMINUM MANUFACTURING WASTES BASIS

Recently the demand to construct low energy consumption buildings has been extremely arisen and it tends to be continued in future. Heat insulating materials decreasing buildings and constructions heat loss will play the key role in their energy efficiency. Low vacuum insulating panels (LVIP) are effective alternative of usual (non vacuum) heat insulating materials because they have lower heat conductivity coefficient. The aim of research was to consider the opportunity of micro silica aluminum plant waists applying as vacuum insulating panel's filler. The results of differential thermal and X-ray diffractive analysis showed the amorphous phase presence, the absence of physical and chemical transformation when heated to 1000 °C and considered powders free water removal with the temperature to 150 °C. Compounds and technologies of vacuum insulating panels manufacturing on the basis of silicon dioxide powders were developed. LVIP heat conductivity was defined by stationary heat flux. The conducted research micro silica aluminum plant waists particles structure by electronic microscopy method proves the presence of developed porous polydispersed powder particles structure that corresponds the system with large specific surface area. The supply of numerous nano-sized particles and pores gives the opportunity to use these materials as vacuum insulating panel's filler.

К e y w o r d s: vacuum insulating panels, X-ray phase analysis, differential thermal analysis, aluminum manufacturing wastes.

REFERENCES

1. Frolov D.I., Sotnikova K.N., Kartashov A.V., Frolova V.S. Vnedrenie meropriyatiy po snizheniyu energozatrat zdaniya [Introduction of measures to reduce energy consumption of the building]. Inzhenernye sistemy i sooruzheniya [Engineering systems and facilities]. 2012. No. 2. Pp. 34–37. (in Russian)

2. Vasil'ev L.L. *Teploprovodnost' nemetallicheskikh zernistykh sistem* [Thermal conductivity of nonmetallic granular systems]. Stroitel'naya teplofizika [Construction thermophysics]. Moscow, Energiya, 1966. Pp. 48–56. (in Russian)
3. Danilevskiy L.N. *Vakuumnaya teploizolyatsiya i perspektivy ispol'zovaniya v stroitel'stve* [Vacuum thermal insulation and prospects its use in construction]. Arkhitektura i stroitel'stvo [Architecture and construction]. 2006. No. 5. Pp. 114–117. (in Russian)
4. Nazirov R.A., Novikov N.S., Zhzhonykh A.M. *Issledovanie vliyaniya nizkogo vakuma na teploprovodnost' razlichnykh stroitel'nykh materialov* [Investigation of the influence of low vacuum on the thermal conductivity of various building materials]. Science Time. 2016. No. 1 (25). Pp. 349–356. (in Russian)
5. Dul'nev G.N., Zarichnyak Yu.P. *Teploprovodnost' smesey i kompozitsionnykh materialov. Spravochnaya kniga* [Thermal conductivity of mixes and composite materials. Directory]. Leningrad, Energiya, 1974. 264 p. (in Russian)
6. Dul'nev G.N., Novikov V.V. *Protsessy perenosa v neodnorodnykh sredakh* [Transport process in inhomogeneous media]. Leningrad, Energoatomizdat, 1991. 248 p. (in Russian)
7. Diefenbach N. *Modernisierung von Zweifamilienhäusern auf unterschiedliche energetische Standards unter Einsatz von Großelementen mit Vakuumdämmung*. 10 Internationale Passivhaustagung 2006. Hannover, 2006. Pp. 63–68.
8. Cherkashin A., Pilipenko V., Danilevskiy L. *Poroshkovaya vakuumnaya teploizolyatsiya* [Powder vacuum insulation]. Arkhitektura i stroitel'stvo [Architecture and construction]. 2011. No. 1. 219 p. (in Russian)
9. Aliev F.E., Akhmedzhanova N.Kh., Krivorotov V.F., Kholmanov I.N. i dr. *Teploprovodnost' opala, zapolnennogo ionnym provodnikom LiIO₃* [Thermal conductivity of opal filled with a LiIO₃ ionic conductor]. Fizika tverdogo tela [Solid state physics]. 2003. Vol. 45. Issue 1. Pp. 60–67. (in Russian)
10. Gladkov S.O. *Gazokineticheskaya model' teploprovodnosti geterogennykh veshchestv* [Gas-kinetic model of thermal conductivity of heterogeneous substances]. Zhurnal tehnicheskoy fiziki [Journal of technical physics]. 2008. Vol. 78. Issue 7. Pp. 12–15. (in Russian)
11. Averkova A.V. *Poluchenie poristykh teploizolyatsionnykh materialov na osnove mikrokremnezema* [Production of porous insulating materials based on microsilica]. Problemy geologii i osvoeniya nedr [Problems of geology and exploitation of mineral resources]. Tomsk, Publishing house of TPU, 2009. Pp. 820–822. (in Russian)
12. Gershovich G.L. *Dobavka mikrokremnezemistykh otkhodov ETTsKK Bratskogo aluminievogo zavoda v stroitel'nye rastvory i drugie tsementnye kompozitsii* [Addition of microcrystalline wastes of ETCs of the Bratsk Aluminum Smelter to mortars and other cement compositions]. Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote po teme 7. Inv. OISM UP-1068 [Report on research work on topic No. 7]. Bratsk, 1990. 768 p. (in Russian)
13. Pat. Rossiyskoy Federatsii RU2283292. *Sposob prigotovleniya mikrogranul kompleksnoy dobavki v tsementnye kompozity* [Method of preparation of microgranules of a complex additive in cement composites]. S.A. Belykh, A.M. Fadeeva, A.Yu. Myasnikova, V.G. Popova: Appl. 2005.04.12; Publ. 10.09.2006. (in Russian)
14. Lokhova N.A. *Obzhigovye materialy na osnove mikrokremnezema* [Firing materials based on microsilica]. Bratsk, Bratskiy GTU, 2002. 163 p. (in Russian)
15. Giesche H. *Synthesis of monodispersed silica powders*. Journal of the European Ceramic Society. 1994. Vol. 14. No. 3. Pp. 189–204.
16. Philipse A.P. *Quantitative aspects of the growth of (charged) silica spheres*. Colloid and Polymer Science. 1988. Vol. 266. No. 12. Pp. 1174–1180.

17. Bogush G.H., Zukowski IV C.F. Uniform silica particle precipitation: an aggregative growth model. *Journal of Colloid and Interface Science*. 1991. Vol. 142. No. 1. Pp. 19–34.
 18. Hier R. *The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties and Biochemistry of Silica*. Wiley-Interscience, 1979. 866 p.
 19. Selyaev V.P., Neverov V.A., Kupriyashkina L.I., Mashtaev O.G. *Vakuumnye teploizolyatsionnye paneli na osnove modifitsirovannogo diatomita* [Vacuum heat-insulating panels based on modified diatomite]. *Nauchno-tehnicheskiy i proizvodstvennyy zhurnal* [Scientific, technical and production journal]. 2014. Pp. 59–62. (in Russian)
-

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



УДК 697.922.563.001.24

А.М. ЗИГАНШИН, К.Э. БАТРОВА, Г.А. ГИМАДИЕВА

**ЧИСЛЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
ТЕЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ ПОСЛЕДНЕЕ БОКОВОЕ ОТВЕРСТИЕ
В ВОЗДУХОВОДЕ**

Рассматривается задача об истечении струи из последнего бокового отверстия воздуховода. Хотя это типичная ситуация для помещений производственных и общественных зданий, закономерности развития подобных струй изучены недостаточно. Для решения задачи использовался численный эксперимент в двумерной постановке. Исследованы конструкции с приточным отверстием шириной h от 0,112 до 0,3 м и с размерами тупика s от 0 до 0,16 м. Определена схема численного моделирования, приводящая к наибольшему схождению результатов к известным данным как при моделировании течения в канале, так и при развитии струи после выхода воздуха через отверстие. Определены зависимости коэффициента местного сопротивления такого отверстия, угла наклона оси струи, а также кинематического коэффициента развития струи от геометрических характеристик бокового отверстия и тупика. Полученные закономерности могут использоваться для корректировки аэродинамического расчета воздуховодов и расчета воздухораспределения в помещении при проектировании систем вентиляции.

Ключевые слова: численное моделирование, последнее боковое отверстие, коэффициент местного сопротивления, характеристики струи, кинематический коэффициент, угол наклона струи, зона влияния.

При аэrodинамическом расчете систем вентиляции важно как можно точнее учитывать потери давления в различных ее элементах. В приточных системах раздача часто выполняется через боковые отверстия воздуховода, однако сведения о коэффициенте местного сопротивления отверстия, находящегося в его конце, весьма скучны. Данные, приведенные в инженерном справочнике [1] и в более полном справочнике [2], используют результаты экспериментального исследования [3], проведенного для круглых воздуховодов. Распространение этих результатов на прямоугольные каналы, особенно на протяженные в одном из поперечных направлений, в которых течение практически двумерно, может привести к заметным искажениям. Аналоги возмущающих поток элементов типа бокового отверстия в канале можно встретить во многих инженерных задачах. В [4] приведены результаты экспе-

риментального и численного исследования истечения из последних боковых отверстий круглой формы с разными соотношениями диаметра к ширине канала для систем охлаждения газовых турбин. Определены зависимости для коэффициентов местного сопротивления (КМС) от размеров канала и отверстия, а также от условия подвода воздуха к отверстию (с одной или двух сторон). В работах [5, 6] приводятся результаты аналитического и экспериментального определения коэффициентов расхода через боковые отверстия водосливов и шлюзовых ворот ирригационных систем в условиях свободной поверхности. Обычно такие работы ограничиваются исследованием сопротивления отверстий, а информация о характеристиках истекающей из таких отверстий струи отсутствует.

В более ранней работе [7] численно исследовалось двумерное течение в канале с последним боковым отверстием, но при анализе поток разделялся на две струйки – проходящую мимо среднего отверстия и выходящую из него. При этом результаты численных расчетов по определению КМС были приведены в виде доли энергии (полного давления), теряемой каждой из рассматриваемых струек, к энергии (динамическому давлению) соответствующей струйки. Такая запись имеет под собой более понятное физическое обоснование, однако для удобства использования в проектировании КМС обычно представляют без разделения на струйки в виде отношения теряемого полного давления на участке, содержащем возмущающий элемент (ВЭ), к динамическому давлению общего потока.

Данная работа является продолжением работы [7]. Здесь представлены результаты численного моделирования течения в канале с последним отверстием в канале для диапазона размеров отверстий $h = 0,032 \div 0,3$ м при высоте канала $H = 0,1$ м. Кроме того, результаты работы [7] представлены в обычной для инженерной практики форме. В дополнение к КМС определены такие характеристики истекающей из последнего отверстия струи, как угол наклона оси, профили продольной скорости в поперечных сечениях струи, а также кинематический коэффициент насадка и длины зоны влияния, т.е. расстояния, на которые распространяется возмущение, вносимое фасонным элементом.

Характеристики течения в канале с последним боковым отверстием. Геометрия расчетной области и характерная картина течения с линиями тока и профилями модуля скорости в поперечных сечениях струи для случая $h = 0,3$ м; $s = 0,016$ м приведена на рис. 1. Там же показано распределение компонент скорости v_x , v_y и статического давления $p_{\text{ст}}$ в реальном и модуле скорости $|v|$ в «условном» отверстиях канала. «Условное» отверстие – часть первого сечения, перпендикулярного оси струи, один край которого совпадает с краем реального отверстия, а второй край находится на границе струи в этом сечении, конкретно – в точке, где модуль скорости практически равен нулю (составляет менее 6 % от осевой скорости в этом сечении). Размеры расчетной области $3 \times 1,6$ м (задача решается в двумерной постановке), ширина канала $H = 0,16$ м, исследованные размеры отверстия $h = 0,3; 0,184; 0,112$ м ($h/H = 1,875; 1,15; 0,7$), размеры тупика $s = 0; 0,016; 0,04; 0,08; 0,16$ м ($s/H = 0; 0,1; 0,25; 0,5; 1$). **ABCDE** – свободные проницаемые границы с равным нулю избыточным давлением, **AF** – входная граница с массовым расходом 1 кг/с, **GI** – отверстие, **AG, IE, EF** – твердые границы.

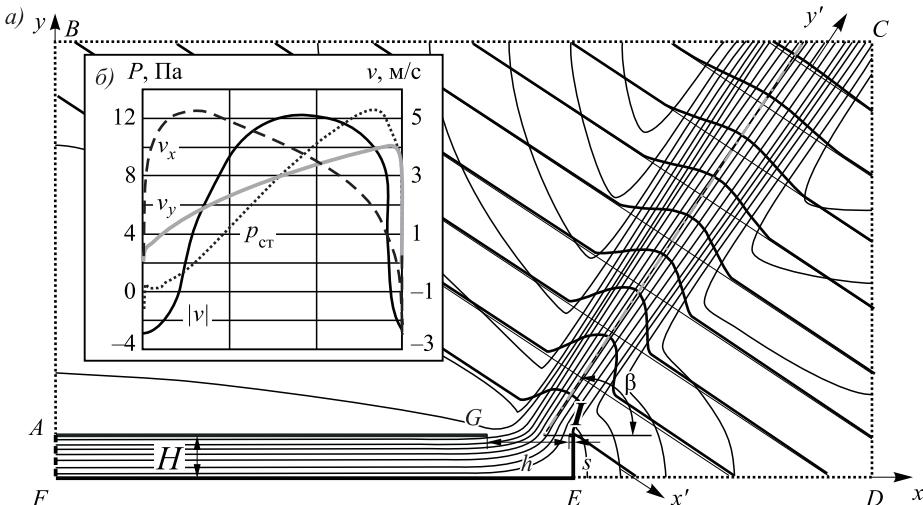


Рис. 1. Геометрия расчетной области (а); распределение компонент скорости и давления (б)

Для расчета используется программный комплекс *Ansys Fluent*¹, реализующий методы вычислительной гидродинамики. Уравнения движения Навье–Стокса, осредненные по Рейнольдсу, замыкаются при помощи «стандартной» k – ϵ модели турбулентности. Так как при течении в канале важно корректное моделирование пограничного слоя, на тестовой задаче проверяется влияние на получаемое решение двух способов пристеночного моделирования, хорошо показавших себя ранее как для свободных течений, так и для течений в каналах [8] – «стандартные пристеночные функции» (SWF) и «расширенное пристеночное моделирование» (EWT). Обычно рекомендуется использовать «стандартные пристеночные функции» при исследовании течений, на которые присутствие стенки не оказывает существенного влияния, в отличие от «расширенного пристеночного моделирования», которые рекомендуется использовать, если нужно максимально корректно смоделировать течение вблизи твердой стенки. В этом подходе упрощенные пристеночные функции используются только в слое, наиболее близком к твердой стенке, а в остальном пограничном слое решаются уравнения Навье–Стокса. Такое моделирование более требовательно к вычислительным ресурсам, поскольку необходима высокая степень измельчения расчетной сетки в пристеночной области, но обычно дает и более корректные результаты.

На первом этапе исследования одновременно с проверкой пристеночного моделирования производится и исследование задачи на «сеточную сходимость». Изначально крупная расчетная сетка измельчается («адаптируется») поэтапно, с проведением решения после каждого этапа «адаптации» и определением значения контрольного параметра и величины, характеризующей степень измельчения расчетной сетки. В качестве характеристик измельчения приняты безразмерные расстояния y^* и y^+ (для SWF и EWT соответственно)²,

¹ ANSYS® Academic Research Mechanical and CFD, Release 18.2.

² ANSYS FLUENT 6.3 Documentation / 12.10 Near-Wall Treatments for Wall-Bounded Turbulent Flows [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sharcnet.ca/Software/Fluent6/html/ug/node510.htm> (дата обращения: 16.05.2018).

а в качестве контрольного параметра – искомый коэффициент местного сопротивления (КМС) ζ . Для хорошего разрешения сеткой области, в которой развивается струя, первый этап адаптации проводится по всей расчетной области. Далее для корректного моделирования потерь давления адаптируется область в канале и вдоль твердых стенок канала. На рис. 2 показано изменение КМС в зависимости от значений y^* и y^+ (т.е. от степени измельчения расчетной сетки) и используемого способа пристеночного моделирования. Значения ζ рассчитывались по формуле

$$\zeta = \frac{P_{\text{вх}}^{\text{п}} - R_{\text{вх}} \cdot l_{\text{вх}}}{P_{\text{отв}}^{\text{д}}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{вх}}^{\text{п}}$, $P_{\text{отв}}^{\text{д}}$ – соответственно полное давление на входе в канал и динамическое давление, рассчитанное по среднерасходной скорости в отверстии; $R_{\text{вх}}$, $l_{\text{вх}}$ – соответственно удельное падение давления на трение в канале до отверстия (определенное по результатам численного расчета) и длина канала до отверстия.

Конечное давление принято равным нулю, что обычно в инженерной практике [3] означает, что КМС включает не только потери на проход через отверстие, но и потери энергии на формирование струи.

Из представленных на рис. 2 результатов анализа «сеточной сходимости» следует, что выбор способа пристеночного моделирования существенно влияет не на величину ζ , а на характер его изменения при измельчении расчетной сетки. У модели *SWF* значение КМС растет с уменьшением размеров ячеек, что особенно заметно при $y^* < 10$. Это не позволяет говорить об устранении «сеточной зависимости» посредством измельчения расчетных ячеек, в то время как для модели *EWT* характерно слабое изменение КМС даже при сильном измельчении сетки. Чтобы обеспечить хорошее разрешение сеткой областей в канале и на выходе из него, для всех остальных геометрий отверстия выбрана «расширенная» пристеночная модель (*EWT*). Отличие величины ζ на 19 % от экспериментального значения, приведенного в [3], по-видимому, связано с различием в форме канала.

Поэтому все дальнейшие численные расчеты велись с использованием «расширенного пристеночного моделирования» (*EWT*) с таким измельчением расчетной сетки, при котором $y^+ \sim 4$, что позволяло разрешить сеткой как пограничный слой (для корректного моделирования сопротивления канала),

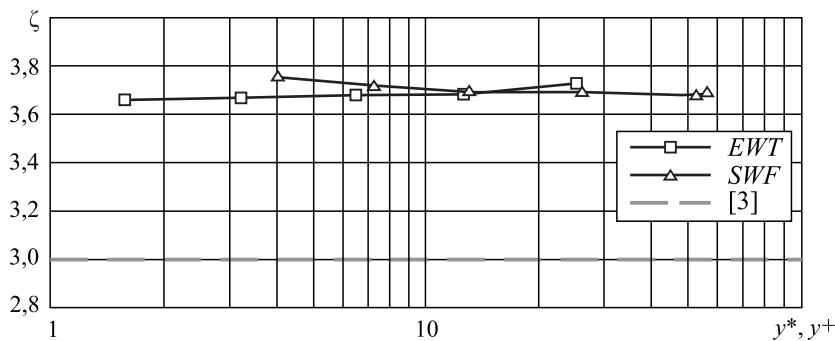


Рис. 2. Зависимость КМС от параметров y^* и y^+

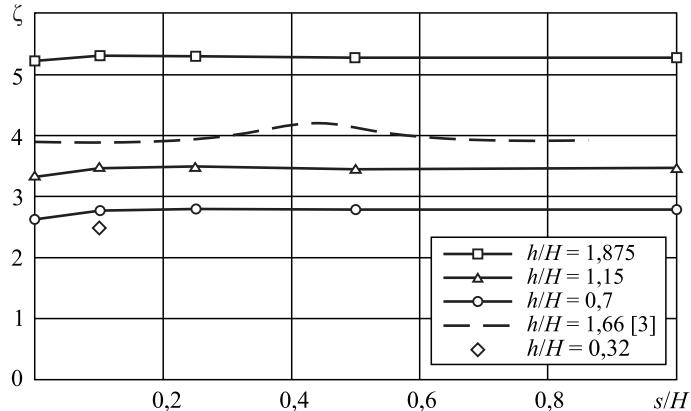


Рис. 3. Зависимость $\zeta_{\text{отв}} = f(s/H, h/H)$

так и выходное отверстие (для корректного моделирования истечения из отверстия и формирования приточной струи).

Далее решался ряд задач для указанных выше размеров отверстия h/H и длин тупика s/H . Для каждой задачи в процессе решения, аналогично тестовой, проводились адаптации с исследованием задачи на «сеточную сходимость». По результатам обработки полученных численных данных построена зависимость сопротивления последнего бокового отверстия ζ от размера тупика s/H и размера отверстия h/H (рис. 3).

На рис. 3 также представлены экспериментальные данные [3] ($h/H = 1,66$), для которых отношение глубины отверстия к глубине канала составляло $b/d = 0,695$ (в данном исследовании $b/d = 1$). Для численных результатов наблюдается слабая зависимость ζ от s/H , что хорошо коррелирует с экспериментальными данными.

На рис. 4 приведена зависимость осредненных значений ζ от размера отверстия h/H . Осреднения для каждого данного значения h/H велись по всем s/H от 0 до 1. Здесь также нанесены КМС из работы [3]. Видно, что при увеличении размера отверстия значение КМС возрастает, что также подтверждается данными [3] и может объясняться следующим: с ростом относительной площади отверстия возрастает относительная скорость воздуха в канале, усиливающая деформацию (скос и сжатие) потока при выходе из отверстия.

Полученную зависимость КМС от относительного размера отверстия h/H для щелевого отверстия ($b/d = 1$) можно аппроксимировать уравнением

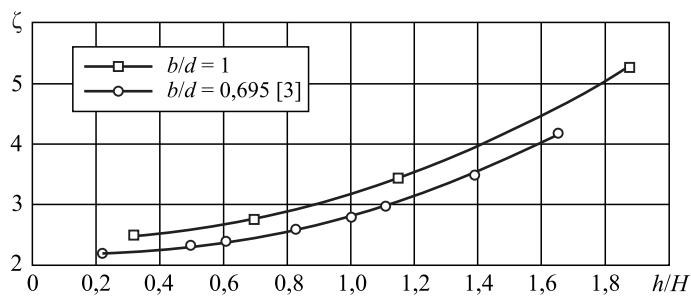


Рис. 4. Зависимость $\zeta_{\text{отв}} = f(h/H)$

$\zeta = 0,8875(h/H)^2 - 0,1547 \cdot (h/H) + 2,4431$, а данные [3] – уравнением $\zeta = 0,914(h/H)^2 - 0,3562 \cdot (h/H) + 2,2571$ ($b/d = 0,695$).

При исследовании сопротивления возмущающих элементов (ВЭ) вентиляционной сети важным также является вопрос о зонах влияния ВЭ – расстоянии, на которое распространяется деформация, вносимая ВЭ вверх и вниз по течению. Учет зон влияния важен при установке измерительных приборов в вентиляционной сети, а также при расчете КМС фасонных элементов, расположенных друг за другом. Ясно, что в данном случае зона влияния фасонного элемента имеется только вверх по течению.

Зона влияния устанавливалась по распределению полного давления в канале перед отверстием. Из рис. 5 следует, что при малых размерах тупика ($s/H < 0,25$) длина зоны влияния l_{3B}/H имеет значение порядка 0,5 и ее четкой зависимости от размеров тупика и отверстия h/H не прослеживается. Некоторая зависимость от размера отверстия видна для самого маленького из исследованных h/H . Это может объясняться повышением сопротивления и соответственно возмущений при уменьшении размеров отверстия. В то же время для отверстий с размером h/H , превосходящим некоторое определенное значение (по крайней мере, для отверстий с $h/H \geq 1,15$), повышение возмущения несущественно, и l_{3B}/H остается близким к 0,5, а для отверстий меньших размеров (по крайней мере, для отверстий с $h/H \leq 0,7$) оно начинает иметь значение, и зона влияния увеличивается ($l_{3B} = 0,68$). При этом исследования показали отсутствие зависимости l_{3B}/H от длины тупика s/H в пределах исследованных значений h/H .

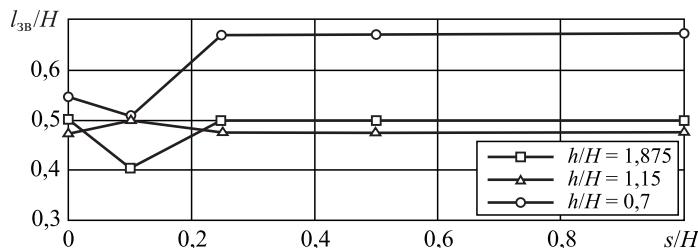


Рис. 5. Зависимость длины зоны влияния l_{3B}/H от размера отверстия (h/H) и тупика (s/H)

Характеристики струи, истекающей из последнего бокового отверстия. Угол наклона оси струи определяется следующим образом. По оси у строятся горизонтальные сечения с достаточно малым шагом (0,05 м). Затем в каждом сечении определяется положение точки, где модуль скорости принимает максимальное значение. Построенная по этим точкам линия прямолинейна (отклонение от прямой не более 1 %) практически на всем протяжении струи, за исключением небольшого участка на истечении, длина которого меняется от 0,15 до 0,29 м. На рис. 6 показаны отдельными зачерненными значками и линиями зависимости угла наклона струи β от размера отверстия h/H и тупика s/H , построенные по данным работы [7] и по результатам обработки численных результатов соответственно. Можно видеть, что результаты хорошо коррелируют между собой.

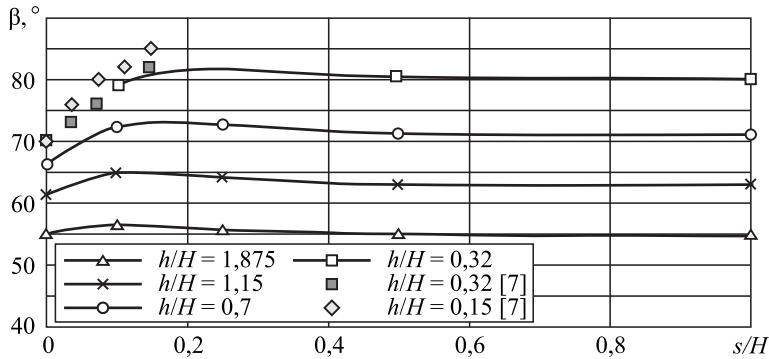


Рис. 6. Зависимость $\beta = f(h/H, s/h)$

Видно также, что угол наклона β существенно зависит от размеров отверстия h/H : чем больше отверстие, тем меньше угол наклона струи. Это может объясняться более свободным истечением и меньшим влиянием торцевой стенки при больших h/H (рис. 7, б).

Влияние размера тупика заметно лишь при его маленьких значениях ($0 < s/h < 0,5$), причем при $s/h = 0$ угол минимальный и далее увеличивается до $s/h = 0,1$, а затем снова падает и принимает свое постоянное значение при $s/h > 0,5$. Такой характер изменения угла наклона струи β может быть объяснен перестройкой течения в углу торцевой стенки канала с последним боковым отверстием, где образуется вихревая зона, которая при отсутствии тупика (т.е. при $s/h = 0$) имеет такую форму, что воздух в канале подтекает к отверстию и истекает далее из него с минимальной деформацией. При небольших

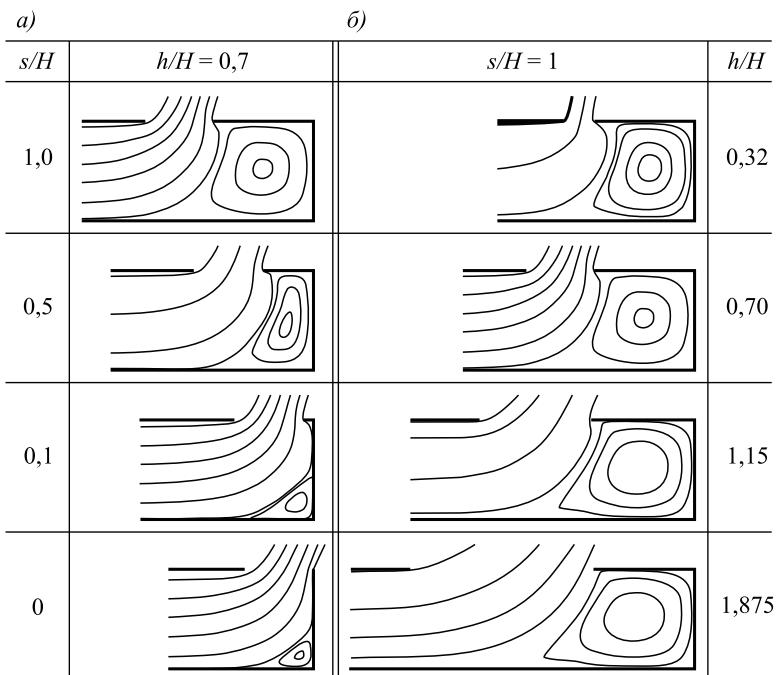


Рис. 7. Изменение очертаний ВЗ при изменении размеров тупика s/H (а) и размеров отверстий h/H (б)

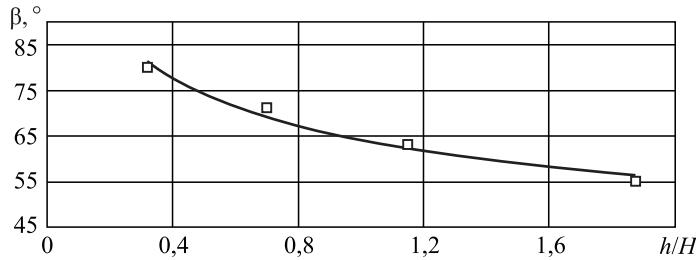


Рис. 8. Изменение угла наклона струи β от размеров отверстия h/H для больших размеров тупика

размерах тупика струя в нем разворачивается, что приводит к увеличению угла истечения, а при дальнейшем увеличении тупика в нем образуется вихревая зона, которая уменьшает степень деформации потока, и поэтому угол истечения вновь несколько снижается (рис. 7, а).

Для последних боковых отверстий, у которых размер тупика s/H достаточно большой ($s/H > 0,5$), можно считать, что угол истечения струи β зависит только от размеров отверстия h/H (рис. 8), и его величина с хорошей точностью (в диапазоне $0,3 < h/H < 2$) может быть найдена по аппроксимирующей зависимости (на рис. 8 показана сплошной линией):

$$\beta = 64,081 \cdot h/H^{0,212}.$$

Для исследования характера развития струи были построены графики изменения продольной скорости в сечениях, поперечных ее оси. С этой целью была введена новая система координат с осью y' , направленной вдоль оси струи, и перпендикулярной ей осью x' (см. рис. 1). На рис. 9 показаны профили относительной продольной скорости u/u_{oc} в поперечных сечениях струи в относительных координатах x'/y' , где u_i – скорость в рассматриваемом сечении y' , а u_{oc} – осевая скорость в этом сечении.

Также здесь приведен экспоненциальный профиль Райхардта, который обычно используется для описания изменения относительной скорости в ос-

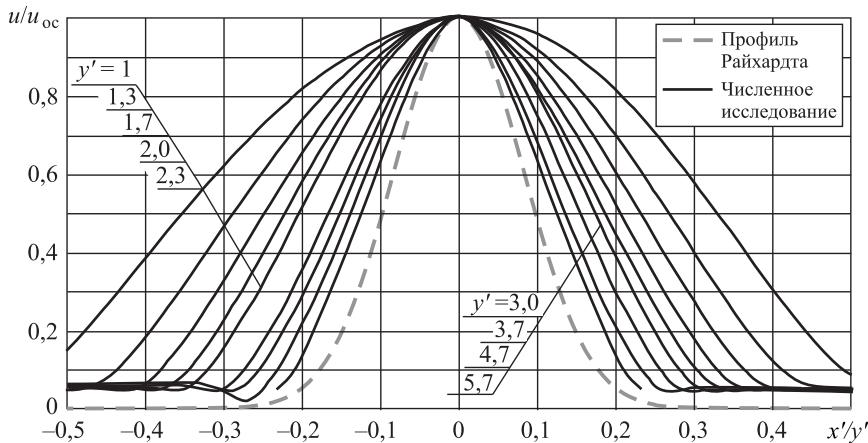


Рис. 9. Профили относительной скорости (для задачи с $H = 0,16$;
 $h = 0,3$; $s = 0,016$)

новном участке свободной струи, истекающей из торцевого отверстия с начальным симметричным профилем:

$$\frac{u_i}{u_{oc}} = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y'_i}{x'_i \cdot c} \right)^2}, \quad (2)$$

где c – экспериментальная константа (для свободной струи $c = 0,082$).

Видно, что в случае истечения из бокового отверстия профили струи в поперечных сечениях практически симметричны. Подобие профилей в данном случае не наблюдается, поскольку длины струи недостаточно для ее развития, и имеет место лишь начальный участок. На рис. 10 показан график изменения коэффициента c по длине струи.

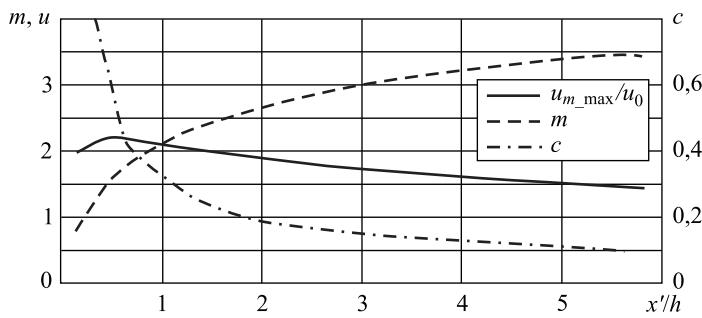
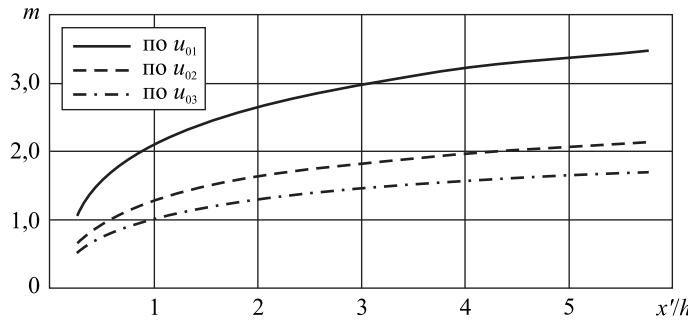


Рис. 10. Изменение безразмерной осевой скорости и коэффициентов m и c по длине струи для задачи $H=0,16$; $h=0,3$; $s=0,016$

Там же показано изменение коэффициента m , который характеризует кинематические свойства струи, истекающей из отверстия определенной конструкции. Обычно этот коэффициент определяется как: $m = (u_{oc}/u_0) \cdot \sqrt{(x'/h)}$, где u_{oc} – осевая скорость, м/с; u_0 – скорость истечения в отверстии, м/с; h – ширина отверстия, м. В качестве скорости истечения может быть принята среднерасходная скорость $u_{01} = L_0/F_0$ [9] (L_0 – секундный объем истекающего воздуха, м³/с; F_0 – площадь приточного отверстия, м²). Однако для случая с неравномерным профилем скорости на истечении осевая скорость будет выше среднерасходной и отношение u_{oc}/u_0 на начальном участке струи окажется больше единицы, что не физично [10].

Следовательно, если при равномерном профиле скорости на истечении логично использование среднерасходной скорости u_{01} , то при неравномерном корректнее использовать максимальную скорость в отверстии, причем для наклонных струй можно использовать проекцию вектора максимальной скорости на ось струи $u_{02} = \vec{u}_{max} \cdot \cos |\alpha - \beta|$ или модуль максимальной скорости $u_{03} = |\vec{u}_{max}|$. Здесь $|\alpha - \beta|$ – угол между вектором скорости α и осью струи β , учитывающий изогнутость струи на начальном участке, из-за чего угол на истечении не совпадает с углом наклона струи на основном участке.

Изменение значения коэффициента m по длине струи, определенное для трех значений скорости u_0 при $h/H = 1,875$; $s/H = 0,1$, представлено на рис. 11. В данном случае начало основного участка с координатой $\bar{x}_0 = x'/h$ при-

Рис. 11. Изменение коэффициента m по длине струи

нималось там, где отклонение δm от среднего значения m было менее 5 %, и m вычислялось как среднее на этом участке. Результаты расчетов сведены в табл. 1.

Для свободной струи, выходящей из прямоугольного щелевого отверстия, значение коэффициента составляет 2,5 [2]. В работе [11] предложен расчетный способ определения коэффициента m по распределению скорости и давления в отверстии:

$$m = \frac{\sqrt{\int_{-0,5}^{0,5} \left(\bar{u}_x^2 \cos \beta + \bar{u}_y^2 \sin \beta + \frac{\bar{p}_c}{2} \sin \beta \right) dx}}{4 \sqrt{\pi} \sqrt{c}}, \quad (3)$$

где $\bar{u}_x = u_x/u_0$ и $\bar{u}_y = u_y/u_0$ – относительные компоненты скорости на истечении; u_0 – среднерасходная скорость на истечении из отверстия, м/с;

$\bar{p}_c = p_c/p_d$ – относительное статическое давление в отверстии;

p_c – статическое давление, Па;

p_d – динамическое давление в отверстии, рассчитанное по скорости u_0 , Па;

c – экспериментальная константа, характеризующая распределение продольной скорости в поперечных сечениях струи.

Расчет по формуле (3) с использованием распределения параметров, полученного в численном эксперименте (см. рис. 1, б), дает значение коэффициента $m = 2,395$ при $c = 0,082$ и $m = 2,286$ при $c = 0,09$ (значение, полученное ранее для струи, истекающей из бокового отверстия). Из данных табл. 1 следует, что значения коэффициента m сильно различаются между собой, т. е. зависят от способа определения. Поэтому представляет интерес определение значения кинематического коэффициента в предположении, что струя истекает из «условного» отверстия, расположенного в первом наклонном сечении, перпендикулярном оси струи.

Таблица 1. Значения коэффициента m при разных способах его определения и истечения из «реального» отверстия

Скорость u_0 , м/с	Кинематический коэффициент m	Начало основного участка $\bar{x}_0 = x'/h$	Отклонение δm , %
$u_{01} = 2,721$	3,37	4	1,9
$u_{02} = 4,443; \alpha = 19,43^\circ; \beta = 56,57^\circ$	1,998	2,95	4,1
$u_{03} = 5,574$	1,593	2,95	4,1

Таблица 2. Значения коэффициента m при разных способах его определения и истечения из «условного» отверстия

Скорость u_0 , м/с	Кинематический коэффициент m	Начало основного участка $\bar{x}_0 = x'/h'$	Отклонение δm , %
$u_{01} = 5,896$	1,77	5,0	1,9
$u_{02} = 5,411; \alpha = 52,15^\circ; \beta = 56,57^\circ$	1,912	5,2	1,5
$u_{03} = 5,428$	1,906	5,2	1,5

Распределение давления и скорости в таком «условном» отверстии будет симметричным, и можно считать, что истечение происходит не из бокового, а из торцевого отверстия. За границы отверстия в этом случае принимался участок сечения, на котором значение продольной скорости не менее 6 % от осевой, его ширина составила $h' = 0,2312$ м. Результаты расчетов, аналогичных предыдущим, сведены в табл. 2.

Расчет по формуле (3) с использованием данных, полученных численно, дает близкие между собой значения коэффициента m : 2,081 при $c = 0,082$ и 1,986 при $c = 0,09$. Следовательно, значения кинематического коэффициента m , получаемые на основе параметров, определенных по «условному» отверстию, практически не зависят от способа определения, в отличие от случая использования параметров, определенных по реальному отверстию.

Заключение. В результате численного моделирования истечения из последнего бокового отверстия получена зависимость КМС от его размеров, определены кинематический коэффициент бокового отверстия и параметры истекающей из него струи – углы наклона, распределение относительной скорости в поперечных сечениях струи. При этом установлено отсутствие зависимости КМС от размеров тупика, что хорошо соответствует известным экспериментальным данным для круглых воздуховодов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Богословский В.Н., Пирумов А.И., Посохин В.Н. и др. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1 / под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1992. 319 с.
- Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М.О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
- Ханжонков В.И., Давыденко Н.И. Сопротивление боковых отверстий концевого участка трубопровода // Пром. аэродинамика. М., 1959. № 15. С. 38–46.
- Barringer M. et al. Manufacturing Influences on Pressure Losses of Channel Fed Holes // J. Turbomach. 2013. Vol. 136. No. 5. P. 51012-1–051012-10.
- Hussain A., Ahmad Z., Ojha C.S.P. Analysis of flow through lateral rectangular orifices in open channels // Flow Meas. Instrum. Elsevier, 2014. Vol. 36. P. 32–35.
- Hussain A., Ahmad Z., Ojha C.S.P. Flow through lateral circular orifice under free and submerged flow conditions // Flow Meas. Instrum. Elsevier, 2016. Vol. 52. P. 57–66.
- Посохин В.Н., Зиганшин А.М., Варсегова Е.В. К расчету потерь давления в местных сопротивлениях. Сообщ. 1 // Изв. вузов. Строительство. 2016. № 4. С. 66–73.

8. Зиганишин А.М., Гимадиева Г.А., Батрова К.Э. Потери давления и характеристики струи, выходящей через среднее боковое отверстие // Изв. КГАСУ. 2017. № 4. С. 257–265.
9. Талиев В.Н. Аэродинамика вентиляции. М.: Стройиздат, 1954. 288 с.
10. Шепелев И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении. М.: Стройиздат, 1978. 145 с.
11. Постохин В.Н., Зиганишин А.М., Варсегова Е.В. О численном определении характеристик приточного насадка // Изв. КГАСУ. 2017. № 1. С. 173–179.

Зиганишин Арслан Маликович, канд. техн. наук, доц.;

E-mail: amziganshin@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Батрова Камилла Эльдаровна, студ.; E-mail: kbatrova96@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Гимадиева Гузель Альбертовна, инж.; E-mail: gimadievamag@yandex.ru

ООО «Технокомпани», г. Казань

Получено 20.06.18

Ziganshin Arslan Malikovich, PhD, Ass. Professor; E-mail: amziganshin@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

Batrova Kamilla El'darovna, Post-graduate Student; E-mail: kbatrova96@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

Gimadieva Guzel' Al'bertovna, Engineer; E-mail: gimadievamag@yandex.ru

«Technocompany» LLC, Kazan, Russia

NUMERICAL DETERMINATION OF FLOW CHARACTERISTICS THROUGH THE LAST LATERAL OPENING IN THE AIR DUCT

The problem of the air flow from the last lateral opening in the duct is considered. Although this is a typical situation for industrial and public buildings, the patterns of development of such flow streams have not been studied enough. The problem is solved with using a numerical experiment in a two-dimensional formulation. The designs with an inlet opening of width from 0,112 m to 0,3 m and with dimensions of the dead end from 0 to 0,16 m were investigated. The numerical modeling scheme, leading to the best convergence of received results to known data both in modeling the flow in the channel, and the stream after exit through the opening. Dependences of pressure losses of such openings, the angle of inclination of the stream axis, and also the kinematic coefficient of stream development on the geometrical characteristics of the lateral opening and a dead end are determined. The obtained patterns can be used for correction of aerodynamic calculation of air ducts and calculation of air distribution in the room when designing ventilation systems.

К e y w o r d s: numerical simulation, last lateral opening, coefficient of local resistance, characteristics of the stream, kinematic coefficient, angle of inclination of the stream, zone of influence.

REFERENCES

1. Bogoslovskiy V.N., Pirumov A.I., Postoхin V.N. et al. Vnutrennie sanitarno-tehnicheskie ustroystva. V 3 ch. Ch. 3. Ventilyatsiya i konditsionirovaniye vozdukha. Kn. 1 [Internal sanitary equipment. Ch. 3. Ventilation and air conditioning]. Pod red. N.N. Pavlova i Yu.I. Shillera. 4-e izd., pererab. i dop. Moscow, Stroyizdat, 1992. 319 p. (in Russian)

2. I d e l ' c h i k I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam [Handbook of hydraulic resistance]. Ed. M.O. Shteynberg. 3rd revised and enlarged ed. Moscow, Mashinostroenie, 1992. 672 p. (in Russian)
3. K h a n z h o n k o v V.I., D a v y d e n k o N.I. Soprotivlenie bokovykh otverstii kontsevogo uchastka truboprovoda [Resistance of lateral openings of the end section of the pipeline]. Promyshlennaya aerodinamika [Industrial aerodynamics]. Moscow, 1959. No. 15. Pp. 38-46. (in Russian)
4. B a r r i n g e r M. et al. Manufacturing Influences on Pressure Losses of Channel Fed Holes. J. Turbomach. 2013. Vol. 136. No. 5. Pp. 51012-1– 051012-10.
5. H u s s a i n A., A h m a d Z., O j h a C.S.P. Analysis of flow through lateral rectangular orifices in open channels. Flow Meas. Instrum. Elsevier, 2014. Vol. 36. Pp. 32–35.
6. H u s s a i n A., A h m a d Z., O j h a C.S.P. Flow through lateral circular orifice under free and submerged flow conditions. Flow Meas. Instrum. Elsevier, 2016. Vol. 52. Pp. 57–66.
7. P o s o k h i n V.N., Z i g a n s h i n A.M., V a r s e g o v a E.V. K raschetu poter' davleniya v mestnykh soprotivleniyakh. Soobshchenie 1 [Calculation of minor losses. Report 1]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2016. No. 4. Pp. 66–73. (in Russian)
8. Z i g a n s h i n A.M., G i m a d i e v a G.A., B a t r o v a K.E. Poteri давления и характеристики струи, выходящей через среднее боковое отверстие [The pressure losses and the characteristics of the jet flowing through the middle lateral outlet]. Izvestiya KGASU [News of the Kazan State University of Architecture and Engineering]. 2017. No. 4. Pp. 257–265. (in Russian)
9. T a l i e v V.N. Aerodinamika ventilyatsii [Aerodynamics of ventilation]. Moscow, Stroyizdat, 1954. 288 p. (in Russian)
10. S h e p e l e v I.A. Aerodinamika vozдушных потоков в помещении [Aerodynamics of air flows in rooms]. Moscow, Stroyizdat, 1978. 145 p. (in Russian)
11. P o s o k h i n V.N., Z i g a n s h i n A.M., V a r s e g o v a E.V. O chislennom opredelenii kharakteristik pritochnogo nasadka [Numerical determination of the supply air terminal characteristics]. Izvestiya KGASU [News of the Kazan State University of Architecture and Engineering]. 2017. No. 1. Pp. 173–179. (in Russian)

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКОЛОГИИ



УДК 721.011 : 624.07.04

С.Н. КРИВОШАПКО

ОБОЛОЧКИ ВРАЩЕНИЯ НЕКАНОНИЧЕСКИХ ФОРМ

Рассмотрены некоторые неканонические оболочки вращения, для которых существуют только теоретические предложения и рекомендации для внедрения, представленные в публикациях, но еще нет практического внедрения. Представлены также оболочки вращения, которые нашли применение в единственных или экспериментальных экземплярах, но могут быть использованы в дальнейшем. Особое внимание уделено оболочкам со срединными поверхностями вращения с экстремальными свойствами. В настоящее время формируется новый стиль в архитектуре – параметрическая архитектура, которая базируется на аналитических методах задания поверхностей, математическом и компьютерном моделировании. Широкое применение получают компьютерные технологии, давшие проектировщикам возможность генерировать более сложные поверхности. Но и множество простых поверхностей ждут своего архитектора и дизайнера. Все эти вопросы обсуждаются в статье.

Ключевые слова: оболочки вращения, поверхности сопряжения, псевдокатеноид, поверхность вращения оптимальной формы, напряженное состояние оболочек вращения, архитектура.

Введение. Без сомнения, оболочки вращения нашли самое широкое распространение в различных отраслях народного хозяйства, в том числе в архитектуре, строительстве и машиностроении. Математики-геометры предложили для внедрения десятки поверхностей вращения с различными меридианами в качестве образующих кривых. Например, в энциклопедии [1] описаны более 65 видов поверхностей вращения, разделенных на 7 подклассов.

Все эти поверхности условно разделим на две группы: канонические и неканонические.

К каноническим поверхностям вращения отнесем поверхности, которые очень часто используются в архитектуре, строительстве и машиностроении. Аналогично будем называть и оболочки со срединными каноническими поверхностями вращения. К этим оболочкам можно отнести сферические, круговые цилиндрические и конические оболочки, параболоиды вращения [2], эллипсоиды вращения [3], однополостные гиперболоиды вращения [4], круговой тор.

К неканоническим поверхностям вращения будем относить поверхности, которые еще не нашли применения в архитектуре, строительстве и машиностроении, хотя геометры их хорошо изучили, или они находят приме-

нение в редких, единичных случаях. К таким поверхностям вращения можно отнести, например, поверхность вращения с постоянной средней кривизной – псевдосферу [5], единственную минимальную поверхность вращения – катеноид [6], или используемые только в качестве резервуаров для жидкости каплевидные оболочки [7].

В настоящей статье рассмотрим некоторые неканонические оболочки вращения, которые имеют теоретические предложения и рекомендации для внедрения, представленные в публикациях, но еще нет практического внедрения. Укажем также поверхности вращения, которые нашли применение в единственных или экспериментальных экземплярах, но могут быть использованы в дальнейшем.

Общие сведения. Наиболее полные сведения об оболочках вращения ненулевой гауссовой кривизны даны в статье [8] с 41 наименованием использованной литературы. Не повторяя содержание этой работы, отметим, что здесь приведены сведения из истории развития методов расчета этих оболочек на прочность, включая безмоментную теорию, линейную и нелинейную моментные теории, описаны способы нахождения оптимальных форм нетривиальных оболочек вращения, приведена литература по определению собственных колебаний и рассмотрен вопрос о потере локальной и общей устойчивости оболочек вращения общего вида. Имеется также работа [9] с 79 наименованиями использованной литературы, где охарактеризованы результаты исследований НДС оболочек вращения с произвольной формой меридиана. Из работ, появившихся в последнее время, следует отметить монографии [10, 11] с большим числом ссылок.

Во всех работах, посвященных геометрическому моделированию поверхностей вращения и расчетам оболочек вращения, применяется система координат в линиях кривизн, совпадающих с меридианами и параллелями.

В монографии [12] рассматриваются вопросы формообразования поверхностей с системой плоских координатных линий, в том числе поверхностей вращения. Для образования поверхностей вращения в языке AutoLisp используется функция Revolve. Как известно, применение функции Revolve предполагает выполнение следующего условия: меридиан должен располагаться с одной стороны от оси вращения, т.е. образующая линия не должна пересекать ось вращения.

Поверхности вращения с синусоидальной образующей. В работе [13] предлагаются для внедрения модельные поверхности соединительных участков двух трубопроводов разного диаметра, но с совпадающими осями (рис. 1) и поверхности сопряжения соосных цилиндра и конуса (рис. 2). В этих случаях рекомендуется брать за меридиан общую синусоиду. Исходные данные для проектирования этих поверхностей сопряжения и решение задач геометрического моделирования приводятся в работах [1, 13].

Методика определения НДС тонкой оболочки вращения, изображенной на рис. 1, изложена в монографии [14]. Применяется новая схема дискретизации – метод криволинейных сеток, являю-

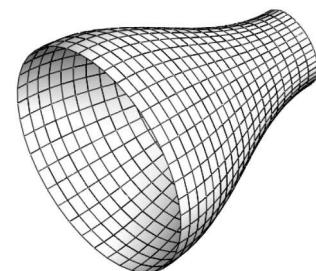


Рис. 1. Поверхность сопряжения двух соосных цилиндров

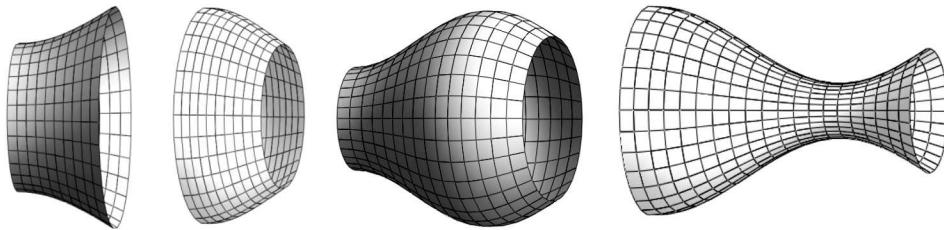


Рис. 2. Поверхности сопряжения цилиндра и конуса

щаяся обобщением метода конечных разностей. Дискретизации подвергаются дифференциальные соотношения теории оболочек.

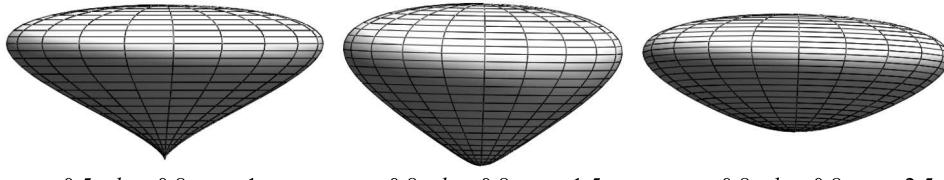
Публикаций по реальному применению этих поверхностей не обнаружено.

Всплывающая мягкая емкость. Эта поверхность вращения по форме напоминает всплывающую мягкую емкость с грузом. В англоязычной научной литературе ее называют «Piriform Surface».

Параметрическая форма задания этой поверхности имеет вид [1]:

$$\begin{aligned}x &= x(u, v) = b[\cos v(r + \sin v)]\cos u, \\y &= y(v) = a(r + \sin v), \\z &= z(u, v) = b[\cos v(r + \sin v)]\sin u,\end{aligned}$$

где $0 \leq u \leq 2\pi$, $-\pi/2 \leq v \leq \pi/2$; a , b и r – постоянные коэффициенты, определяющие форму поверхности (рис. 3).



$$a = 0,5; \quad b = 0,8; \quad r = 1 \quad \quad a = 0,8; \quad b = 0,8; \quad r = 1,5 \quad \quad a = 0,8; \quad b = 0,8; \quad r = 2,5$$

Рис. 3. Всплывающая мягкая емкость

Методика расчета безмоментных оболочек этого типа, находящихся под водой и подверженных внутреннему избыточному давлению воздуха и внешнему давлению воды, приводится в работах [15, 16]. Эти привлекательные формы можно применить и в наземных сооружениях, однако архитекторы пока не обратили на них своего внимания.

«Капля». При определенных значениях постоянных параметров, входящих в параметрические уравнения поверхности вращения «Капля»,

$$\begin{aligned}x &= x(u, v) = a(b - \cos u)\sin u \cos v, \\y &= y(u, v) = a(b - \cos u)\sin u \sin v, \\z &= z(u) = \cos u,\end{aligned}\tag{1}$$

где $0 \leq u \leq \pi$, $0 \leq v \leq 2\pi$; a и b – постоянные коэффициенты, определяющие форму поверхности, она напоминает по форме каплю в падении (рис. 4). В литературе на немецком языке ее называют «Der Tropfen».

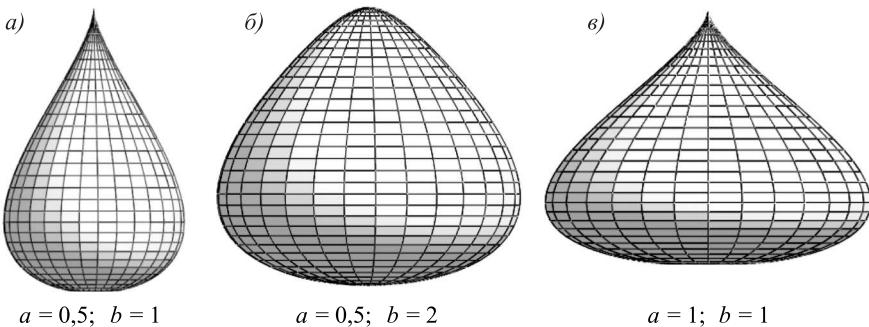


Рис. 4. Поверхности вращения «Капля»

Сооружения в форме капли встречаются довольно часто, но дизайнеры вкладывают в это понятие разные формы, похожие на каплю. Например, есть асимметричные сфероидальные каплевидные резервуары, в каждой точке которых возникают только растягивающие напряжения одинаковой величины в меридиональном и широтном направлениях. Ю. Шевнин [17] предлагает для внедрения каплевидные сетчатые оболочки, форма которых образует максимально эргономичный объем при наименьшей площади поверхности. Он утверждает, что капля имеет оптимальную форму для восприятия ветровых и сугробовых нагрузок. Есть публикации о висячих плетеных качелях в форме капли (рис. 4, a), о здании Water Building Resort и некоторых других [7]. Однако это – каплевидные поверхности, а поверхности вращения «Капля» задаются параметрическими уравнениями (1).

Псевдокатеноид образуется вращением кривой $x = b \operatorname{ch}(z/a)$ вокруг оси Oz . Псевдокатеноид – поверхность вращения строго отрицательной гауссовой кривизны, но она не является минимальной поверхностью [1].

Катеноид образуется вращением цепной линии $x = a \operatorname{ch}(z/a)$ вокруг оси Oz (рис. 5, a). Катеноид является единственной минимальной поверхностью вращения, т. е. средняя кривизна его поверхности во всех точках равна нулю [6].

Явная форма задания псевдокатеноида (рис. 5, б, в):

$$z = a \operatorname{Arch} \sqrt{(x^2 + y^2) / b^2}.$$

На рис. 5, б псевдокатеноид имеет $a > b$. Поверхность вращения, представленная на рис. 5, в, построена для случая $a < b$. Только при $a = b$ (рис. 5, a)

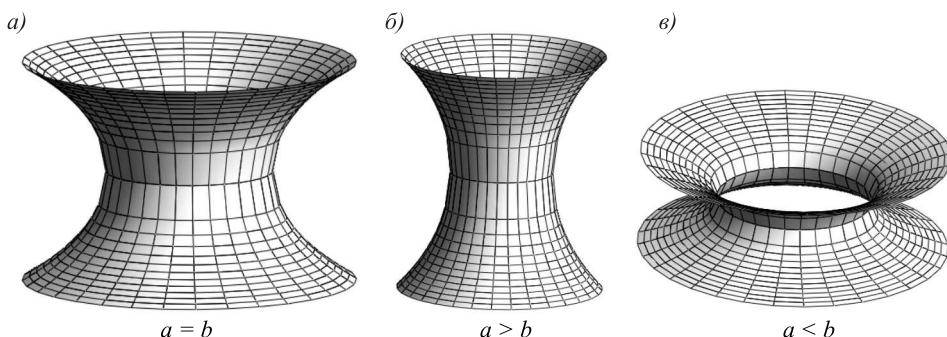


Рис. 5. Катеноид и псевдокатеноиды

псевдокатеноид становится минимальной поверхностью ($H = 0$) и может быть назван катеноидом.

Уравнение псевдокатеноида содержит две константы a и b , следовательно, проектировщик имеет больше свободы в выборе формы, однако предложений по применению этой поверхности на практике и публикаций по определению НДС оболочек с этой формой не обнаружено.

Параболо-логарифмическая поверхность вращения положительной гауссовой кривизны образовывается вращением плоской кривой (рис. 6)

$$r = r(z) = a\sqrt{cz + b} \ln(cz + b)$$

вокруг оси z [18]. Для безмоментных статических уравнений равновесия этой оболочки вращения, находящейся под действием переменной распределенной внешней нагрузки, в работе [18] предложено точное общее аналитическое решение в комплексной форме.

Гиперболо-параболическая поверхность вращения. В статье [19] на основе безмоментной теории построено простое аналитическое решение для гиперболо-параболической оболочки вращения с изменяющейся по знаку гауссовой кривизной.

Верхняя часть оболочки представляет собой гиперболоид с меридианом

$$r_1 = A(z + a)^p,$$

где $p \geq 2$, $0 \leq z \leq z_0$, а в нижней части – параболоид вращения с меридианом

$$r_2 = B(z + b)^{1/q},$$

где $q \geq 2$, $z_0 \leq z \leq H$. В точке z_0 меридианы плавно сопрягаются.

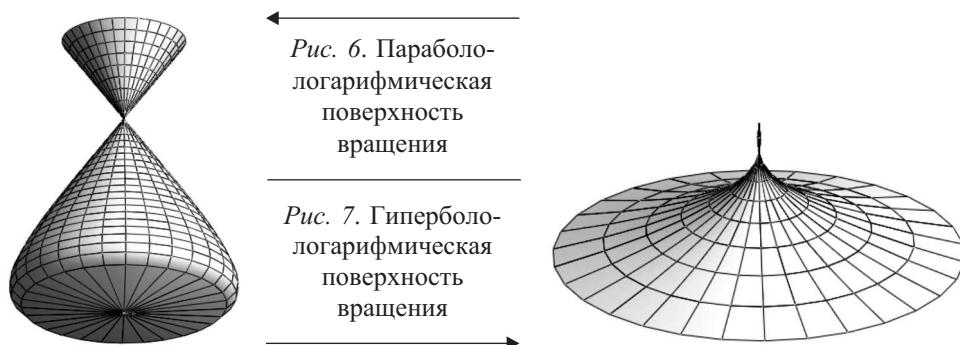
Г.И. Назаров и А.А. Пучков [19] полагают, что такая оболочка при соответствующих параметрах может быть использована в процессе реконструкции и восстановления культовых сооружений XVI–XVIII вв. средней полосы России.

Гиперболо-логарифмическая поверхность вращения отрицательной гауссовой кривизны имеет меридианы

$$r = r(z) = a(z + b)^2 \ln(z + b),$$

где $a > 0$ – постоянная, характеризующая форму поверхности (рис. 7).

Постоянная b на форму поверхности не влияет, от нее зависит положение начала координат. При $b = 0$ начало декартовой системы координат будет расположено в вершине поверхности вращения. Ось Oz является осью враще-



ния. Возникающая здесь неопределенность при $z = -b$ вида $0 \cdot \infty$ раскрывается по правилу Лопитала. При этом получается

$$r = r(z = -b) = 0.$$

Частное решение для безмоментной упругой оболочки в географических координатах, содержащее синусы и косинусы от угла вращения меридиана и три независимых параметра, которые находятся при задании граничных условий, удобно для практического использования [20].

Г.И. Назаров и А.А. Пучков [20] полагают, что такая оболочка при соответствующих параметрах может быть также использована в процессе реконструкции и восстановления культовых сооружений XVI–XVIII вв. средней полосы России. Они считают, что эта поверхность может быть с успехом применена в современном архитектурно-строительном проектировании, например, для тентовых шатров с внутренней центральной опорой. Известны шатровые оболочки, поверхность которых образовывается вращением цепной линии, гиперболы или параболы (рис. 8) [21].



Рис. 8. Тентовый шатер диаметром 50 м в Казани

Поверхности «Яйцо». Наиболее распространенный тип пространственных природных систем – скорлупы-оболочки. Одна из совершенных природных форм – скорлупа птичьего яйца.

Уравнение математической модели меридионального сечения птичьего яйца можно получить, исследуя замкнутые двухфокусные кривые четвертого порядка. Например, Г.В. Брандт [22] считает, что форма яйца хорошо описывается неявным уравнением четвертого порядка

$$z^2 + y^2 = 3x(2a - x)[1 - c^2/(x + a)^2]/4,$$

где $2a$ – длина большой оси (ось вращения поверхности);
 c – межфокусное расстояние;
 $(a - c)/2$ – расстояние от начала координат до первого фокуса меридиональной кривой.

Параметрические уравнения поверхности вращения «Яйцо» можно представить в виде:

$$x = x, y = y(x, \varphi) = r(x)\cos\varphi, z = z(x, \varphi) = r(x)\sin\varphi,$$

где

$$r(x) = \sqrt{\frac{3}{4}x(2a-x)} \left[1 - \frac{a^2\beta^2}{(x+a)^2} \right],$$

$\beta = c/a$ – коэффициент, характеризующий форму меридиана. На рис. 9 $\beta = 0,75$ (перепелиное яйцо).

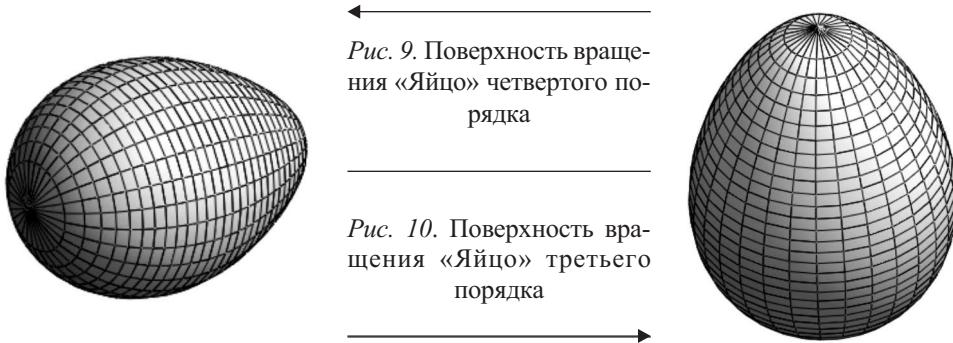


Рис. 9. Поверхность вращения «Яйцо» четвертого порядка

Рис. 10. Поверхность вращения «Яйцо» третьего порядка

Оболочки вращения «Яйцо» со срединной поверхностью четвертого порядка привлекли внимание авторов статьи [23], которые исследовали напряженно-деформированное состояние половины этой железобетонной оболочки вращения, жестко закрепленной вдоль меридионального контура и подверженной действию собственного веса и внутреннего давления.

Известна еще одна поверхность вращения «Яйцо», которая задается неявным уравнением третьего порядка

$$x^2 + y^2 = c^2z(z-a)(z-b),$$

где a, b, c – произвольные константы, определяющие форму поверхности.

Параметрические уравнения этой поверхности (рис. 10) записываются в виде:

$$x = x(u, v) = c\sqrt{u(u-a)(u-b)}\sin v,$$

$$y = y(u, v) = c\sqrt{u(u-a)(u-b)}\cos v,$$

$$z = z(u) = u,$$

где полагают $a <= b$, тогда $0 \leq v \leq 2\pi$, $0 \leq u \leq a$; $a = 1$ см; $b = 1,5$ см; $c^2 = 0,85^2$ см $^{-1}$.

Форма поверхности вращения «Яйцо» используется архитекторами на практике. Например, эту форму имеет башня «Tree Top Walk», Германия (рис. 11), дом-яйцо на ул. Машкова в Москве (рис. 12), построенный в 2002 г.; деревянный дом-лодка, запроектированный SPUD group и PAD Studio для С. Тернера (St. Turner), в котором он жил в течение года на the Beaulieu River, Англия. Фрагмент формы яйца использован для Центра искусств в Нью-Йорке, США. Центр строился с 1966 по 1978 г., запроектирован У. Гаррисоном (W. Harrison). Ультрасовременное здание-яйцо в Мумбаи проектировала архитектурная компания James Law Cybertecture Int. под руководством Дж. Лоу. Приведенные примеры показывают, что

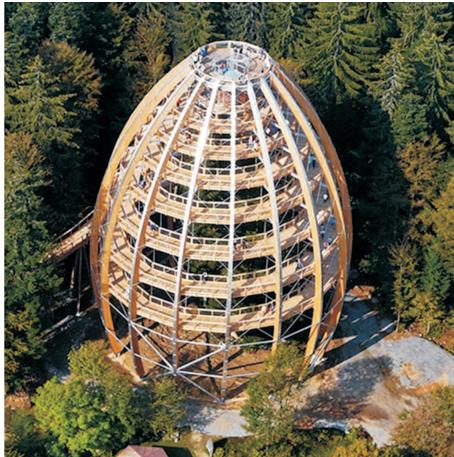


Рис. 11. Башня «Tree Top Walk», Бавария
(Германия)
[baumwipfelpfad.de/bwp_en/index.php]



Рис. 12. Дом-яйцо, ул. Машкова,
Москва

форма «яйцо» востребована в современной архитектуре. К сожалению, авторы не указывают уравнения выбранных поверхностей, а дают только габаритные размеры.

Реактивный конус. Верхняя часть Лондонского экологического небоскреба «Огурец» до 17-го этажа (проект Н. Фостера), стеклянный павильон Таута, представленный на выставке в Кёльне в 1914 г., и некоторые другие сооружения очень напоминают по форме реактивный конус. Реактивный конус (Bullet Nose) по форме очень близок к внешней поверхности пули (рис. 13, *a*), образовывается вращением кривой

$$x = \pm az / \sqrt{b^2 + z^2}$$

(рис. 13, *б*) вокруг координатной оси *z*. Меридаин реактивного конуса можно задать также параметрическими уравнениями:

$$x = x(t) = a \cos t,$$

$$z = z(t) = -b \operatorname{ctg} t,$$

следовательно, параметрическая форма задания поверхности будет:

$$x = x(u, v) = a \cos v \cos u,$$

$$y = y(u, v) = a \cos v \sin u,$$

$$z = z(v) = -b / \operatorname{tg} v,$$

$$x < a; \quad y < a; \quad 0 \leq u \leq 2\pi;$$

$$0 < v \leq \pi / 2.$$

Эта поверхность описывается только в математических энциклопедиях, архитекторам и дизайнерам она неизвестна.

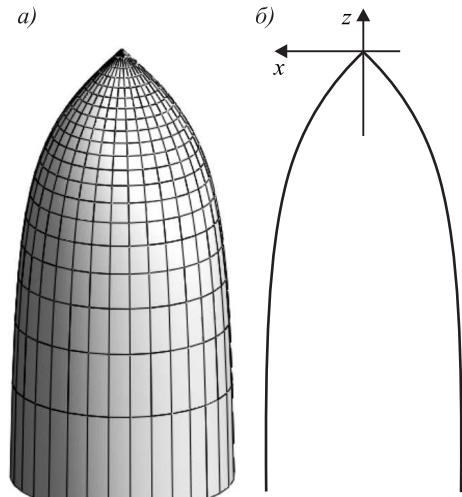


Рис. 13. «Реактивный конус» (*а*) и меридиан «реактивного конуса» (*б*)

Поверхности вращения с экстремальными свойствами. Большое число исследований посвящено отысканию оптимальной формы поверхностей вращения.

Например, задача об оптимальном проектировании осесимметричных безмоментных оболочек вращения, нагруженных внутренним давлением, собственным весом или центробежными силами, решается в работе [24]. Ищется форма меридиана прочной оболочки в смысле критерия прочности Треска минимального объема методами классического вариационного исчисления.

Иногда приходится находить параметрическое представление меридиана поверхности вращения с заданной средней кривизной как функции параметра дуги меридиана. Эта задача решается в статье [25].

При заданном объеме бочкообразной оболочки, защемленной по краям и нагруженной равномерным осевым сжатием, в работе [26] отыскивается оптимальная кривизна меридиана с точки зрения максимума критической нагрузки.

В.В. Алехин [27] находит форму меридиана безмоментной равнопрочной тонкой изотропной оболочки постоянной толщины, находящейся под действием собственного веса и внутреннего давления. Меридиан строится по точкам.

Несколько работ посвящены исследованию НДС оболочек нодоидного типа, срединная поверхность которых имеет минимальную площадь при данном объеме. М.М. Крейчман [28] получил асимптотическим методом решение задачи при нагружении оболочки несимметричной краевой нагрузкой. По принципу взаимности эта задача эквивалентна следующей задаче: найти такую плоскую кривую $r = r(z)$, при вращении которой вокруг оси Oz образуется тело минимального объема V , ограниченное поверхностью заданной площади S . Замечательным свойством нодоидов является их постоянная средняя кривизна. Эти поверхности находят применение при проектировании ядерных энергетических установок [29]. С достаточной степенью точности можно считать купола многих православных церквей нодоидными оболочками [30].

Иногда задаваясь формой поверхности вращения, находят оптимальную стрелу подъема и радиус основания оболочки, исходя из действующей внешней нагрузки [31].

Приведенный обзор исследований оболочек со срединными поверхностями вращения с экстремальными свойствами показывает, что, работая в этом направлении, можно получить новые, полезные для практики результаты. Пока эти исследования носят теоретический характер.

Заключение. Тесная связь архитектуры и математики известна давно. В Древней Греции геометрия считалась одним из разделов архитектуры. В начале XXI в. сформировался новый стиль в архитектуре – параметрическая архитектура [32], основанная на аналитических методах задания поверхностей, математическом и компьютерном моделировании. В этот период широкое применение получают компьютерные технологии, давшие проектировщикам возможность генерировать более сложные поверхности и оперировать ими. Но и множество простых поверхностей ждут своего архитектора и дизайнера. На сегодняшний день уже существует много архитектурных

объектов, в которых прослеживается сходство с формами аналитических поверхностей, а некоторые архитекторы реально используют в своей работе аналитическую и дифференциальную геометрию. Но в общем считается, что такой подход к проектированию – достаточно молод. Мировой опыт параметрической архитектуры насчитывает уже несколько десятков наименований аналитических поверхностей [33], воплощенных в реальные гражданские и промышленные сооружения и конструкции. Канонические поверхности вращения [1–4] не потеряют своей практической ценности, а неканонические поверхности вращения [5–8, 13, 15–30] помогут значительно расширить круг решаемых архитекторами задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N. Encyclopedia of Analytical Surfaces. Springer International Publishing Switzerland, 2015. 752 p.
2. Кривошапко С.Н. К вопросу о применении параболических оболочек вращения в строительстве в 2000–2017 годах // Стройт. механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 4. С. 4–14.
3. Кривошапко С.Н. Эллипсоиды вращения в конструкциях зданий и сооружений. Сер. Стройт. материалы и конструкции. М.: Госстрой России, ВНИИНТПИ, 1999. Вып. 4. 40 с.
4. Krivoshapko S.N. Static, vibration, and buckling analyses and applications to one-sheet hyperboloidal shells of revolution// Applied Mechanics Reviews. 2002. Vol. 55. No. 3(May). P. 241–270.
5. Kenneth Brecher. Mathematics, Art and Science of the Pseudosphere// Proceedings of Bridges 2013: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture. P. 469–472.
6. Jaime Horta-Rangel, Humberto Uehara-Guerrero, Teresa Lopez-Lara, Luz Perez-Rea, Juan Hernandez-Zaragoza and Eduardo Rojas-Gonzalez. Optimal design of a fabric shell using a coupled fem-optimization procedure // Asian Journal of Science and Technology. 2014. Vol. 5. Issue 11. P. 722–726.
7. Кривошапко С.Н., Мамиева И.А. Каплевидные поверхности в архитектуре зданий, резервуаров и изделий // Вестн. Рос. ун-та дружбы народов. Сер. Инж. исследования. 2011. № 3. С. 24–31.
8. Кривошапко С.Н. Оболочки вращения ненулевой гауссовой кривизны // Монтаж. и спец. работы в стр-ве. 1998. № 10. С. 28–31.
9. Михайлов Б.К., Гурьянин К.В. Напряженное состояние оболочек вращения (Обзор работ по линейной теории оболочек вращения за последние 10 лет). Л.: ЛИСИ, 1983. 28 с. (Деп. в ВИНТИ 28 апр. 1984 г., № 2777-84Деп.).
10. Mazurkiewicz Z.E., Nagorski R.R. Shells of revolution. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, the Netherlands, 1990. 640 p.
11. Alphose Zingoni. Shell Structures in Civil and Mechanical Engineering: Theory and analysis, Second edition. Thomas Telford Limited, 2017. 438 c. (ICE Virtual Library).
12. Иванов В.Н., Романова В.А. Конструкционные формы пространственных конструкций (визуализация поверхностей в системах MathCad, AutoCad). М.: АСВ, 2016. 412 с.
13. Кривошапко С.Н. Модельные поверхности соединительных участков двух трубопроводов // Монтаж. и спец. работы в стр-ве. 2005. № 10. С. 25–29.
14. Гуляев В.И., Баженов В.А., Гоцюляк Е.А., Гайдайчук В.В. Расчет оболочек сложной формы. Киев: Будивельник, 1990. 190 с.

15. Друзь И.Б., Захарина Л.В. Мягкие оболочки вращения с постоянными кольцевыми натяжениями // Трансп. дело России. 2015. № 6. С. 72–76.
16. Друзь И.Б., Захарина Л.В., Друзь Б.И. Всплывающая безмоментная сферическая мягкая ёмкость // Трансп. дело России. 2015. № 6. С. 192–198.
17. Шевнин Ю. Автономный дом-капля ЭЛЬПЮЛЬ. 2008 (Электронная книга).
18. Назаров Г.И., Пучков А.А. Равновесие параболо-логарифмической оболочки вращения // Прикл. математика и механика. 1991. Т. 55. № 5. С. 867–869.
19. Назаров Г.И., Пучков А.А. Безмоментное равновесие гиперболо-параболической оболочки вращения с изменяющейся по знаку гауссовой кривизной // Изв. вузов. Строительство. 1992. № 5, 6. С. 54–57.
20. Назаров Г.И., Пучков А.А. Обратная краевая задача для оболочки вращения отрицательной гауссовой кривизны // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1990. № 12. С. 22–24.
21. Удлер Е.М. Формообразование сооружений из мягких оболочек // Вестн. ИГЭУ. 2013. № 5. С. 1–9 (электронное периодическое издание).
22. Брандт Г.В. Исследования уравнения поверхности оболочки, образованной двухфокусной кривой // Сб. тр. ВЗПИ. Сер. Стр-во и архитектура. М.: ВЗПИ, 1973. С. 76–86.
23. Кадомцева Е.Э., Чепурненко А.С., Симакова А.А., Фарниева М.В., Забейврота В.А. Напряженно-деформированное состояние яйцеобразной оболочки под действием собственного веса и внутреннего давления // Инж. вестн. Дона. 2018. Т. 48. № 1. С. 106–115.
24. Kruzelecki J. Pewne problemy ksztaltowania powlok osiowo-symetrycznych w stanie blonowym // Mech. teor. i stosow. 1979. Vol. 17. No. 1. P. 75–92.
25. Kenmotsu Katsuei. Surfaces of revolution with prescribed mean curvature // Tohoku Math. J. 1980. Vol. 32. No. 1. P. 147–153.
26. Blachut J. Optimal barrel-shaped shells under buckling constraints // AIAA J. 1987. Vol. 25. No. 1. P. 186–188.
27. Алексин В.В. Проектирование равнопрочной безмоментной оболочки вращения // Мат. модели и вычисл. методы мех. сплошной среды. Красноярск: КГУ, 1979. С. 77–84.
28. Крайчман М.М. Исследование НДС оболочек нодоидного типа, нагруженных несимметричной быстро изменяющейся нагрузкой. Казань: Казан. ун-т. 15 с. (Рук. деп. в ВИНИТИ 2 апр. 1982, № 1539-82Деп.)
29. Городов Г.Ф., Гагарин Ю.А., Митенков Ф.М., Пичков С.Н. Использование нодоидных и ундулоидных оболочек при проектировании ядерных установок // Прикл. пробл. прочности и пластичности. 2000. № 61. С. 61–63.
30. Пульпинский Я.С. Купол русской церкви как оболочка оптимальной формы // Тр. Междунар. форума по проблемам науки, техники, образования. Т. I / под ред. В.П. Савиных, В.В. Вишневского. М.: Академия наук о Земле, 2001. С. 95–97.
31. Гмирач К.М., Козлов А.В., Прокуров Р.А. Подбор оптимальных параметров эллипсоидной железобетонной оболочки вращения // Междунар. науч.-исслед. журн. 2017. № 02 (56). Ч. 3. С. 100–104.
32. Мамеева И.А., Разин А.Д. Параметрическая архитектура в Москве // Архитектура и строительство России. 2014. № 6. С. 25–29.
33. Krasic Sonja. Geometrijske povrsi u arhitekturi. Gradevinsko-arhitektonski fakultet Univerzitet u Nisu. Stampa Galaksija, Nis, 2012. 238 c.

Кривошапко Сергей Николаевич, д-р техн. наук, проф.;

E-mail: sn_krivoshapko@mail.ru

Российский университет дружбы народов, г. Москва

Получено после доработки 19.06.18

Krivoshapko Sergey Nikolaevich, DSc, Professor; E-mail: sn_krivoshapko@mail.ru
Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow

SHELLS OF REVOLUTION OF NON-TRIVIAL FORMS

In the paper, some non-trivial shells of revolution, for which only theoretical offers and reconditions for inculcation, presented in publications but not having practical inculcation, exist, are considered. Shells of revolution finding the application in single or experimental specimens are also presented because they can be used in future. Special attention is given to shells with the middle surfaces of revolution with extremal properties. At present time, a new style in architecture is formed that is based on analytical methods of description of surfaces, mathematical and computer modelling. This style is called parametrical architecture. Computer technologies obtain wide recognition. They give the possibility to designers to generate the more complex surfaces. But simple surfaces are waiting their architects and designers. All these problems are discussed in the paper.

К e y w o r d s: shell of revolution, conjugate surfaces, pseudo-catenoid, surface of revolution of optimal form, stress-strain state of shells of revolution, architecture.

REFERENCES

1. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N. Encyclopedia of Analytical Surfaces. Springer International Publishing Switzerland, 2015. 752 p.
2. Krivoshapko S.N. K voprosu o primenenii parabolicheskikh obolochek vrashcheniya v stroitel'stve v 2000–2017 godakh [On application of parabolic shells of revolution in civil engineering in 2000–2017]. Stroitel'naya mehanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy [Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings]. 2017. No. 4. Pp. 4–14. (in Russian)
3. Krivoshapko S.N. Ellipsoidy vrashcheniya v konstruktsiyakh zdaniy i sooruzheniy. Seriya Stroitel'nye materialy i konstruktsii [Ellipsoids of revolution in structures of buildings and erections. Series of Construction materials and designs]. Moscow, Gosstroy Rossii, VNIINTPI, 1999. Issue 4. 40 p. (in Russian)
4. Krivoshapko S.N. Static, vibration, and buckling analyses and applications to one-sheet hyperboloidal shells of revolution. Applied Mechanics Reviews. 2002. Vol. 55. No. 3(May). Pp. 241–270.
5. Kenneth Brecher. Mathematics, Art and Science of the Pseudosphere. Proceedings of Bridges 2013: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture. Pp. 469–472.
6. Jaime Horta-Rangel, Humberto Uehara-Guerrero, Teresa Lopez-Lara, Luz Perez-Rea, Juan Hernandez-Zaragoza and Eduardo Rojas-Gonzalez. Optimal design of a fabric shell using a coupled fem-optimization procedure. Asian Journal of Science and Technology. 2014. Vol. 5. Issue 11. Pp. 722–726.
7. Krivoshapko S.N., Mamieva I.A. Kaplevidnye poverkhnosti v arkhitektуре zdaniy, rezervuarov i izdeliy [Drop-shaped surfaces in the architecture of buildings, reservoirs, and factory-made goods]. Vestnik RUDN. Seriya Inzhenernye issledovaniya [Vestnik RUDN. Series of Engineering studies]. 2011. No. 3. Pp. 24–31. (in Russian)
8. Krivoshapko S.N. Obolochki vrashcheniya nenulevoy gaussovoy krivizny [Shells of revolution of non-zero Gaussian curvature]. Montazhnye i spetsial'nye raboty v stroitel'stve [Installation and special works in construction]. 1998. No. 10. Pp. 28–31. (in Russian)
9. Mikhaylov B.K., Gur'yano K.V. Napryazhennoe sostoyanie obolochek vrashcheniya (Obzor rabot po lineynoy teorii obolochek vrashcheniya za poslednie 10 let) [Stress state of shells of revolution (Reviews of works devoted to linear theory of shells of revolution during the last 10 years)]. Leningrad: LISI, 1983. 28 p. (Dep. in VINITI, April 28, 1984, № 2777-84Dep). (in Russian)

10. Mazurkiewicz Z.E., Nagorski R.R. Shells of revolution. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, the Netherlands, 1990. 640 p.
11. Alphose Zingoni. Shell Structures in Civil and Mechanical Engineering: Theory and analysis, Second edition. Thomas Telford Limited, 2017. 438 p. (ICE Virtual Library).
12. Ivanov V.N., Romanova V.A. Konstruktsionnye formy prostranstvennykh konstruktsiy (vizualizatsiya poverhnostey v sistemakh MathCad, AutoCad) [Constructive Forms of Spatial Structures (Visualization of Surfaces in MathCad, AutoCad)]. Moscow, ASV, 2016. 412 p. (in Russian)
13. Krivoshapko S.N. Model'nye poverhnosti soedinitel'nykh uchastkov dvukh truboprovodov [Model surfaces of connecting fragments of two pipe-lines]. Montazhnye i spetsial'nye raboty v stroitel'stve [Installation and special works in construction]. 2005. No. 10. Pp. 25–29. (in Russian)
14. Gulyaev V.I., Bazenov V.A., Gotsulyak E.A., Gaydaychuk V.V. Raschet obolochek slozhnoy formy [The Analysis of Shells of Complex Form]. Kiev, Budivelnyk, 1990. 190 p. (in Russian)
15. Druz' I.B., Zakharina L.V. Myagkie obolochki vrashcheniya s postoyannymi kol'tsevymi natyazheniyami [Bladder tanks of revolution with constant ring stresses]. Transportnoe delo Rossii [Transport Business in Russia]. 2015. No. 6. Pp. 72–76. (in Russian)
16. Druz' I.B., Zakharina L.V., Druz' B.I. Vslyayushchaya bezmomentnaya sfericheskaya myagkaya emkost' [Float up membrane spherical bladder tank]. Transportnoe delo Rossii [Transport Business in Russia]. 2015. No. 6. Pp. 192–198. (in Russian)
17. Shevnnin Yu. Avtonomnyy dom-kaplya EL'PYUL' [Avtonomniy Dom-Kaplya ELPyul']. 2008. (EBook). (in Russian)
18. Nazarov G.I., Puchkov A.A. Ravnovesie parabolo-logarifmicheskoy obolochki vrashcheniya [The equilibrium of a parabolic-and-logarithmic shell of revolution]. Prikladnaya matematika i mehanika [Applied mathematics and mechanics]. 1991. Vol. 55. No. 5. Pp. 867–869. (in Russian)
19. Nazarov G.I., Puchkov A.A. Bezmomentnoe ravnovesie giperbolo-parabolicheskoy obolochki vrashcheniya s izmenyayushcheysya po znaku gaussovoy kriviznoy [Momentless equilibrium of a hyperbolic-and- parabolic shell of revolution with Gaussian curvature under changing sign]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 1992. No. 5, 6. Pp. 54–57. (in Russian)
20. Nazarov G.I., Puchkov A.A. Obratnaya kraevaya zadacha dlya obolochki vrashcheniya otritsatel'noy gaussovoy krivizny [Inverse boundary problem for a shell of revolution of negative Gaussian curvature]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura [News of Higher Educational Institutions. Construction and architecture]. 1990. No. 12. Pp. 22–24. (in Russian)
21. Uder E.M. Formoobrazovanie sooruzheniy iz myagkikh obolochek [Forming of building constructions from soft shell]. Vestnik IGEU [Vestnik of IGEU]. 2013. No. 5. Pp. 1–9 (Electronic Edition). (in Russian)
22. Brandt G.V. Issledovaniya poverhnosti obolochki, obrazovannoy dvukhfokusnoy krivoy [Investigation of the equation of the shell surface formed by the two-focus curve]. Sb. tr. VZPI. Seriya Stroitel'stvo i arkhitektura [Collection of works VZPI. Series of Construction and architecture]. Moscow, VZPI, 1973. Pp. 76–86. (in Russian)
23. Kadomtseva E.E., Chepurnenko A.S., Simakova A.A., Farnieva M.V., Zabeyvorota V.A. Napryazheno-deformirovannoe sostoyanie yaytseobraznoy obolochki pod deystviem sobstvennogo vesa i vnutrennego davleniya [Stress-strain state of the egg-shaped shell under dead load and inner pressure].

- Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. 2018. Vol. 48. No. 1. Pp. 106–115. (in Russian)
24. Kruzelecki J. Pewne problemy ksztaltowania powlok osiowo-symetrycznych w stanie blonowym. Mech. teor. i stosow. 1979. Vol. 17. No. 1. Pp. 75–92.
25. Kenmotsu Katsuei. Surfaces of revolution with prescribed mean curvature. Tohoku Math. J. 1980. Vol. 32. No. 1. Pp. 147–153.
26. Blachut J. Optimal barrel-shaped shells under buckling constraints. AIAA J. 1987. Vol. 25. No. 1. Pp. 186–188.
27. Alekhin V.V. Proektirovaniye ravnoprochnoy bezmomentnoy obolochki vrashcheniya [Design of equal in strength momentless shell of revolution]. Mat. modeli i vychislit. metody mekh. sploshnoy sredy [Mathematical models and computational methods of continuum mechanics]. Krasnoyarsk, KGU, 1979. Pp. 77–84. (in Russian)
28. Kreychman M.M. Issledovaniye NDS obolochek nodoidnogo tipa, nagruzhennykh nesimmetrichnoy bystro izmenyayushchey sya nagruzkoj [The investigation of SST of shells of nodoid type loaded by nonsymmetrical quickly changing load]. Kazan, Kazan. Un-t. 15 p. Ruk. dep. v VINITI, April 1, 1982, № 1539-82Dep. (in Russian)
29. Gorofov G.F., Gagarin Yu.A., Mitenkov F.M., Pichkov S.N. Ispol'zovaniye nodoidnykh i unduloidnykh obolochek pri proektirovaniyi yadernykh ustanovok [The application of nodoid and unduloid shells in design of nuclear power-plant]. Prikl. probl. prochnosti i plastichnosti [Application of strength and plasticity]. 2000. No. 61. Pp. 61–63. (in Russian)
30. Pul'pinskiy Ya.S. Kupol russkoy tserkvi kak obolochka optimal'noy formy [A dome of Russian church as a shell of optimal form]. Trudy Mezhdun. foruma po problemam nauki, tekhniki, obrazovaniya [Proceedings of the International forum on science, technology, educations]. Vol. 1. Edited by V.P. Savinykh, V.V. Vishnevskiy. Moscow, Akademiya nauk o Zemle, 2001. Pp. 95–97. (in Russian)
31. Mirach K.M., Kozlov A.V., Proskurov R.A. Podbor optimal'nykh parametrov ellipsoidnoy zhelezobetonnoy obolochki vrashcheniya [Selection of optimal parameters of elliptical reinforced concrete shell of revolution]. Mezhdunar. nauch.-issled. zhurnal [International Research Journal]. 2017. No. 02 (56). P. 3. Pp. 100–104. (in Russian)
32. Mamieva I.A., Razin A.D. Parametricheskaya arkhitektura v Moskve [Parametrical architecture in Moscow]. Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii [Architecture and construction of Russia]. 2014. No. 6. Pp. 25–29. (in Russian)
33. Krasic Sonja. Geometrijske povrsi u arhitekturi. Gradevinsko-arhitektonski fakultet Univerzitet u Nisu, Stampa Galaksija, Nis, 2012. 238 p.

УДК 711.4-168(470.62)

О.С. СУББОТИН

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ КРАСНОДАРА

Рассмотрены актуальные вопросы градостроительства в контексте исторического процесса развития Краснодара. Определено качество архитектурной среды исторического центра города, а именно совокупность облика и пространства. Раскрыты основные проблемы по его реконструкции и регенерации кварталов исторической застройки. В результате проведенного анализа современного состояния архитектурно-планировочной структуры Краснодара выявлены его градостроительные особенности, сформированные под влиянием различных факторов. Предложены и обоснованы концептуальные решения по совершенствованию и развитию планировочной структуры, определяющие ее основные элементы и их взаимное расположение. Отмечен значительный градостроительный потенциал города для создания коммуникационно-рекреационных пространств и благоприятных условий для туристской деятельности. Обозначена стратегия архитектурно-градостроительного развития Краснодара.

Ключевые слова: структура, среда, градостроительство, исторический центр, Краснодар, объект, город, территория, наследие.

Город – творение рук человечества, его душа и память. Именно память, материализованная в архитектурных достопримечательностях, составляет основу его богатства. Пространственная среда постоянно развивается, видоизменяется, но ядром города по-прежнему остается его исторический планировочный каркас. Город Краснодар обладает высочайшей концентрацией элементов культуры, архитектурных и исторических памятников. Пространственная среда Екатеринодара (Краснодара) складывалась поэтапно, отражая все приметы хозяйственного и культурного освоения Кубани [1] (рис. 1).

Краснодар – крупнейший город на юге Российской Федерации, административный, культурный, экономический, научно-образовательный, а также промышленный центр Краснодарского края с развитой транспортной инфраструктурой. Неофициально Краснодар именуют «столицей Кубани» или «кубанской столицей», в нем сосредоточены различные отрасли народного хозяйства, значительный прогресс которых обеспечивается стабильными связями с зонами активного роста на территории края и региона. Поэтому целенаправленное привлечение инвестиций играет важную роль в архитектурно-градостроительном развитии города.

Целесообразность хозяйственного освоения территории достигается путем использования предшествующего опыта планирования, а анализ и интерпретация позволяют получить более конкретное представление о перспективном развитии. Ведущая роль в принятии решений в области инвестиционной политики принадлежит перспективной оценке динамики развития поселения. Хозяйственное освоение территории и стилевые изменения в ар-

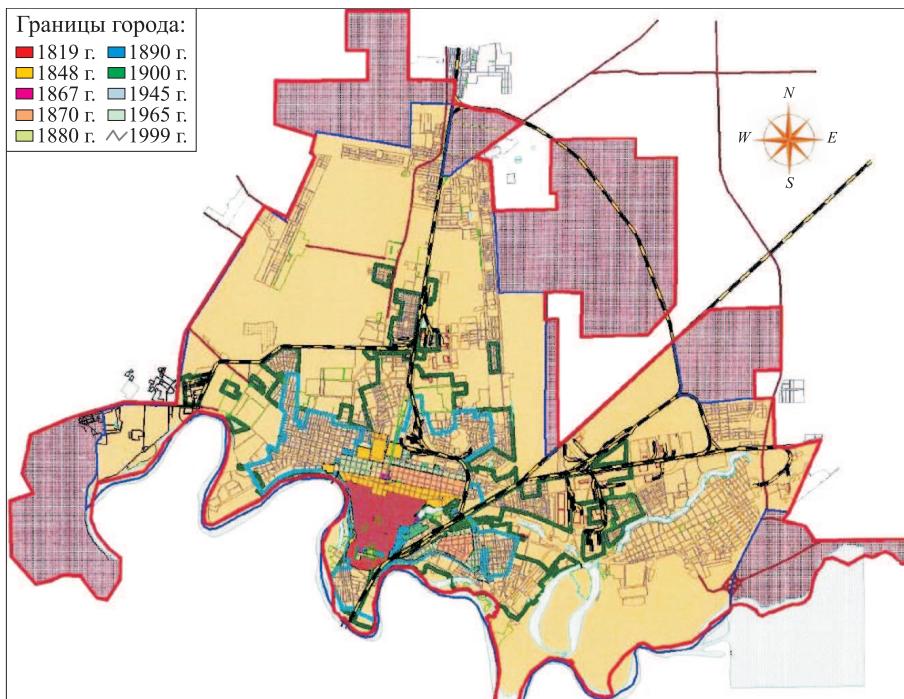


Рис. 1. История изменения границ территории г. Краснодара

хитектуре отражаются в том периоде, в котором они действительно произошли [2].

Преемственность в градостроительстве крайне необходима. Город не в состоянии испытывать резкие движения в формировании. Только эволюционные процессы дают возможность городу накапливать позитивные качества городской среды [3]. При этом территориальные размеры систем, способных к уравновешенному развитию, постоянно растут в соответствии с ростом активности воздействия хозяйственных процессов на природные [4].

Актуальность исследования состоит в изучении и оценке архитектурно-планировочной структуры города, имеющей важное значение не только с экономической точки зрения и качества среды жизнедеятельности, но и в перспективных разработках градостроительной документации, путем создания единого городского пространства в различных аспектах градостроительного проектирования.

Архитектурное и градостроительное проектирование сегодня входит в операционное поле настолько сложной сферы деятельности, что необходимо брать на вооружение методологические достижения других наук [5].

Обзор состояния проблемы и степень ее разработанности. Градостроительная структура Краснодара, его пространственно-планировочная организация – многогранный объект для исследования, представляет собой широкий спектр современной науки. Тем не менее несмотря на то, что аспекты представленной темы разрабатывались различными специалистами, остается ряд нерешенных проблем, среди которых особо следует выделить архитектурно-градостроительные меры по сохранению исторической среды в центральной части города.

Объектом исследования выступает застроенная территория Краснодара.

Предметом исследования являются градостроительные особенности, влияющие на формирование архитектурно-планировочной структуры города.

Цель исследования – определение перспектив развития архитектурно-планировочной структуры с учетом существующего положения и действующего правового градорегулирования.

Задачи исследования состоят в том, чтобы выявить градостроительные особенности архитектурно-планировочной организации Краснодара.

Методология и методы исследования включают сравнительный анализ:

- ранее выполненных схем и генеральных планов Краснодара;
- исторического процесса становления и формирования города.

В состав г. Краснодара входят территории 29 населенных пунктов, которые вместе образуют муниципальное образование город Краснодар. Основополагающим принципом архитектурно-планировочной организации муниципального образования г. Краснодар является функциональное зонирование территорий с выделением соответствующих зон для развития важных функций городского комплекса.

Преимущественно структурный каркас территорий города сформирован за счет создания планировочных осей. Территория Краснодара делится на четыре внутригородских округа: Центральный, Западный, Прикубанский, Карабанский, границы которых проведены по осям магистральных улиц и в соответствии со сформированными межевыми планами. Прикубанский внутригородской округ занимает самую большую территорию – 474 км². Жилая застройка указанных округов не однородна по своей структуре, а именно жилой фонд представлен зданиями средней и повышенной этажности, в значительной степени сосредоточенными в центральной части. В жилых районах данных округов наиболее развита инфраструктура общественных центров районного значения. При этом внутригородские округа Прикубанский и Карабанский обладают резервными территориями для дальнейшего развития города, освоение которых сдерживается наличием зон сельскохозяйственного использования, включающих участки садоводства и дачного хозяйства, прилегающих непосредственно к городской застройке. Также следует отметить, что г. Краснодар ограничен в своем территориальном развитии планировочной ситуацией, характеризующейся отсутствием свободных городских территорий для дальнейшего развития.

Важным элементом планировочной структуры Краснодара является исторический центр города, расположенный в опорной его части. Данный центр наглядно отображает взаимосвязь между явлениями и процессами общественной жизни, основные тенденции его развития свидетельствуют о его культурном, архитектурном, социальном и политическом прошлом.

Старый город дает прекрасные примеры сценарной организации впечатлений по основным направлениям движения. В исторически сложившейся городской среде, как правило, четко читается структурная логика, иерархичность ее построения [6]. Специфика исторических условий нашла яркое отражение в сложившейся планировочной схеме [7].

Богатое историческое прошлое, разнообразие застройки и стилей центральной части г. Краснодара является ядром архитектурного ансамбля города. Это своего рода «визитная карточка» краснодарцев, которая несмотря

на трансформацию в соответствии с требованием времени сохранилась. Улицы исторического центра: Красная, Рашилевская, Октябрьская, Красноармейская, Седина... – имеют свой самобытный характер, несут отпечаток старины [8].

Планировочная структура исторического центра Краснодара является одной из основных характеристик пространственной организации города. Вместе с тем развитие данной структуры связано с антагонистичностью социально-экономических функций города, а также дифференциацией застроенных территорий различного назначения, т.е. той стороной процесса развития, которая связана с разделением, расчленением развивающегося целого на части, ступени, уровни.

Градостроительное планирование должно косвенно учитывать взаимодействие администрации, органов местного самоуправления, инвесторов, специалистов-планировщиков, жителей [9].

Исторический процесс развития территории исследуемого города представляет собой непрерывно продолжаемый процесс, влияющий на архитектурный облик города. При этом должны быть разработаны комплексные проекты регенерации кварталов.

Одновременно «рассматривая регенерацию кварталов исторической застройки, увязанную с развитием окружающих территорий и сохранением историко-культурного наследия, обеспечивающую современный уровень социального, инженерно-транспортного обслуживания, экологических условий проживания» [10], следует осуществлять прокладку и развитие инженерных сетей, увеличение мощностей по инженерной инфраструктуре. Наряду с этим комплексная программа развития территорий города должна быть направлена на повышение уровня комфортности условий жизнедеятельности, организацию композиционно-художественных пространств. «Необходимо научиться видеть последствия тех или иных градостроительных решений в отдаленной перспективе и во всех секторах экономики, политики, культуры и социальной жизни» [11].

При этом дальнейшее перспективное развитие города заключается в следующем:

- обеспечение устойчивого развития территорий, совершенствование инженерной, транспортной и социальной инфраструктур;
- совершенствование функционального зонирования, а именно вывод за черту города путей железнодорожных сообщений, аэродрома, авиационного училища и т.д.;
- формирование городской застройки вдоль р. Кубани, создание выразительного архитектурного силуэта речного фасада города;
- организация природно-рекреационных зон, во взаимосвязи с охраной природы и рациональным использованием природных ресурсов;
- реконструкция и благоустройство территорий;
- проектирование многофункциональной системы зеленых насаждений.

Все это должно быть приведено в соответствии с основными параметрами развития города: перспективной численностью населения, наличием надлежащего жилого фонда, объектов обслуживания (постройки, сооружения, площадки для автотранспорта и т.п.) для всех видов строительства, в контексте комплексного освоения территорий (рис. 2). Необходимо учитывать

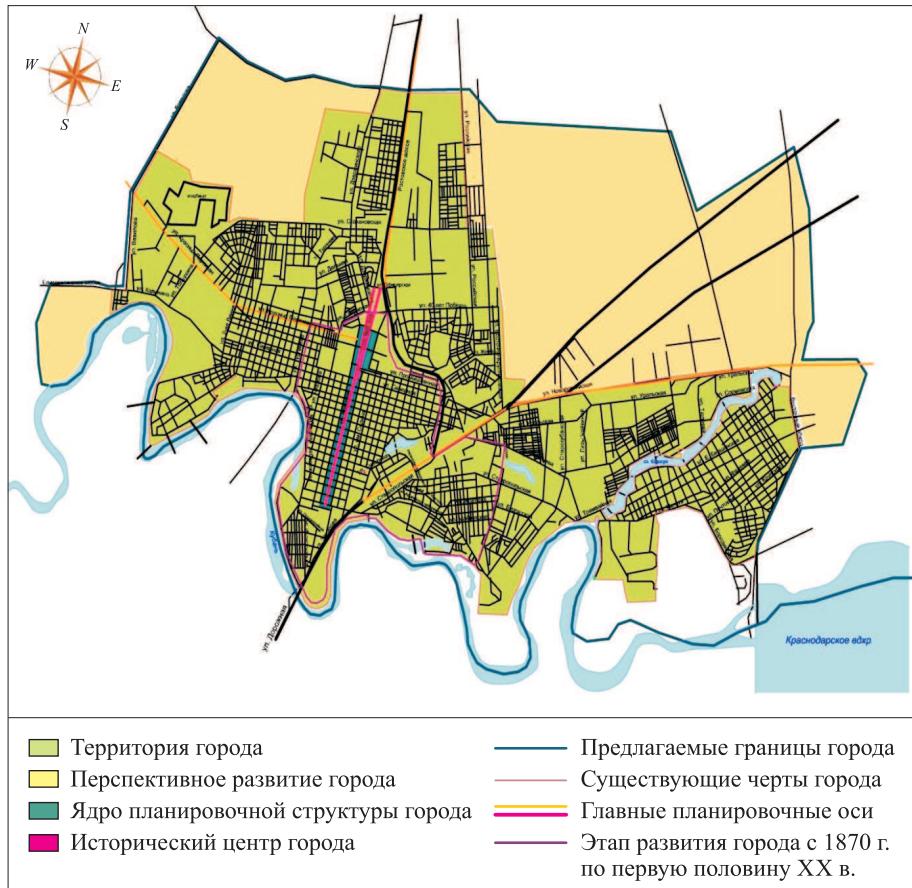


Рис. 2. Стратегические направления перспективного развития Краснодара

совместную работу искусственной и природной среды на территории данного города с учетом прилегающей к нему зоны влияния.

Достижение экологического равновесия между искусственной и естественной средой обитания человека является идеалом и приобретает особую важность в контексте стремительной утраты жизненно важных и невозобновимых ресурсов планеты [12]. Также следует отметить, что и «создание искусственной среды в экстремальных условиях всегда привлекало внимание специалистов. Опыт создания таких объектов полезен и при сооружении зданий для сезонного отдыха и туризма, организации фестивалей и других зрелищных, общественно-политических и религиозных мероприятий» [13].

Таким образом, территориальное единство и высокая степень функциональной или композиционной целостности предопределена рядом факторов, среди которых наиболее значимыми являются:

- сохранение уникальных особенностей исторической среды центральной части города, фоновой застройки, градоформирующих объектов историко-культурного наследия;
- сохранение классических традиций градостроительства, прямоугольной квартальной сетки улиц, целостности архитектурно-планировочной структуры и принципов ее организации;

- адаптация исторической среды для современного использования в условиях возрастающего процесса экономической и культурной интеграции и унификации;
- разработка стратегической схемы территориального планирования, определение перспективных границ развития и архитектурных доминант, определяющих красоту и величественность перспективы;
- оценка городского ландшафта, в контексте природно-градостроительного потенциала для создания рекреационного пространства и развития туристской деятельности.

В современных социально-экономических условиях развития исторических территорий важно также сохранять элементы их пространственной организации, отражающей расположение и взаимосвязь функциональных зон различного назначения, например, сочетание жилой застройки с местами массового посещения [14]. Отдельно следует подчеркнуть, что «сбор и обработка градостроительной информации о развитии территорий исторической среды, об исторических центрах – чрезвычайно трудоемкий процесс» [15,16]. Перед нами стоит актуальная задача – сохранение уникальных особенностей исторического центра Краснодара, с учетом регламентов по сохранению градостроительного контекста и повышения уровня комфортности проживания на данной территории, привлекательности объектов историко-культурного наследия для культурной и туристической деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Субботин О.С. Концептуальные особенности генеральных планов г. Краснодара // Вестн. МГСУ. 2011. № 6. С. 640–644.
2. Субботин О.С. Методология исследования архитектурно-градостроительного развития Кубани // Жилищное стр-во. 2014. № 8. С. 29–34.
3. Туманик Г.Н. Новосибирск: неиспользованные возможности градостроительного формирования (полемические заметки). 2-е изд., перераб. и доп. Новосибирск: НГАХА, 2014. 174 с.
4. Яргина З.Н. Градостроительный анализ. М.: Стройиздат, 1984. 245 с.
5. Сапринина Н.А. Использование принципов эмерджентности при формировании пространственной среды обитания как системы // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Тр. МАРХИ: материалы международ. науч.-практ. конф. М., 2014. С. 344–347.
6. Щенков А.С. Реконструкция исторической застройки в Европе во второй половине XX века: Историко-культурные проблемы. М.: Ленанд, 2011. 280 с.
7. Карелин Д.В., Шульгина В.С. Функциональная организация прибрежной территории западно-сибирских городов. Исторический аспект // Вестн. ТГАСУ. 2018. Т. 20. № 1. С. 74–81.
8. Субботин О.С. Особенности регенерации кварталов исторической застройки. Ч. I // Жилищное стр-во. 2012. № 10. С. 22–25.
9. Градостроительные основы развития и реконструкции жилой застройки: науч. изд. / под общ. ред. Ю.В. Алексеева. М.: АСВ, 2009. 640 с.
10. Субботин О.С. Особенности регенерации кварталов исторической застройки. Ч. II // Жилищное стр-во. 2012. № 11. С. 26–29.
11. Митягин С.Д. Градостроительство. Эпоха перемен. СПб.: Изд-во «Зодчий», 2016. 280 с.

12. Пустоветов Г.И., Лихачев Е.Н. Современные тенденции экологизации объектов сельской среды // Изв. вузов. Строительство. 2011. № 4. С. 69–74.
13. Сапрыкина Н.А. Экологические приемы формирования архитектурных объектов, использующих энергосберегающие технологии // Вестн. гражд. инженеров. 2004. № 1. С. 41–45.
14. Субботин О.С. Проблемы сохранения архитектурно-градостроительного наследия в условиях современного города (на примере Краснодара) // Жилищное стр-во. 2017. № 7. С. 35–40.
15. Градостроительное проектирование жилых территорий и комплексов. Т. 1. Формирование жилых территорий с новой застройкой: монография / под ред. Ю.В. Алексеева и Г.Ю. Сомова. М.: ACB, 2010. 224 с.
16. Moghtsin J.C. Urban Design: Green Demensions. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1996.

Субботин Олег Степанович, д-р архитектуры, проф.

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина,
г. Краснодар

Получено после доработки 04.06.18

Subbotin Oleg Stepanovich, DSc, Professor

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

TOWN PLANNING PECULIARITIES OF THE PLANNING STRUCTURE OF KRASNODAR

Urgent issues of urban development in the context of the historical process of development of Krasnodar are considered. The quality of the architectural environment of the historical center of the city, namely the combination of appearance and space, is determined. The main problems of its reconstruction and regeneration of blocks of historical buildings are revealed. As a result of the analysis of the current state of the architectural and planning structure of Krasnodar, its urban development features, formed under the influence of various factors, were revealed. Conceptual solutions for the improvement and development of the planning structure that determine its basic elements and their mutual arrangement are proposed and justified. The significant urban planning potential of the city for creation of communication and recreational spaces and favorable conditions for tourist activity was noted. The strategy of architectural and town-planning development of Krasnodar is outlined.

К e y w o r d s: structure, environment, urban planning, historical center, Krasnodar, object, city, territory, heritage.

REFERENCES

1. Subbotin O.S. Kontseptual'nye osobennosti general'nykh planov g. Krasnodara [Conceptual features of the general plans of the city of Krasnodar]. Vestnik MGSU [Bulletin of the MSUCE]. 2011. No. 6. Pp. 640–644. (in Russian)
2. Subbotin O.S. Metodologiya issledovaniya arkhitekturno-gradostroitel'nogo razvitiya Kubani [Methodology of the study of architectural and town-planning development of the Kuban]. Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing construction]. 2014. No. 8. Pp. 29–34. (in Russian)
3. Tumanik G.N. Novosibirsk: neispol'zovannye vozmozhnosti gradostroitel'nogo formirovaniya (polemicheskie zametki) [Novosibirsk: the unused possibilities of the town-planning formation (polemical notes)]. 2-nd edition revised and enlarged. Novosibirsk, NSAAA, 2014. 174 p. (in Russian)

4. Y a r g i n a Z.N. *Gradostroitel'nyy analiz* [Town planning analysis]. Moscow, Stroyizdat, 1984. 245 p. (in Russian)
5. S a p r y k i n a N.A. *Ispol'zovanie printsipov emerzhentnosti pri formirovani prostranstvennoy sredy obitaniya kak sistemy* [Use of the principles of emergence in the formation of a spatial habitat as a system]. Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe proektirovanie. Trudy MARKhI: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii [Science, education and experimental design. Proceedings of the Moscow Architectural Institute: international materials scientific-practical conference]. Moscow, 2014. Pp. 344–347. (in Russian)
6. S h c h e n k o v A.S. *Rekonstruktsiya istoricheskoy zastroyki v Evrope vo vtoroy polovine XX veka: Istoriko-kul'turnye problemy* [Reconstruction of historical buildings in Europe in the second half of the 20-th century: Historical and cultural problems]. Moscow, Lenand, 2011. 280 p. (in Russian)
7. K a r e l i n D.V., S h u l ' g i n a V.S. *Funktional'naya organizatsiya pribrezhnoy territorii zapadno-sibirsikh gorodov. Istoricheskiy aspekt* [Functional organization of the coastal territory of West Siberian cities. Historical aspect]. Vestnik TGASU [Bulletin of the TSUAB]. 2018. Vol. 20. No. 1. Pp. 74–81. (in Russian)
8. S u b b o t i n O.S. *Osobennosti regeneratsii kvartalov istoricheskoy zastroyki. Chast' I* [Features of regeneration of blocks of historical buildings. Part I]. Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing construction]. 2012. No. 10. Pp. 22–25. (in Russian)
9. *Gradostroitel'nye osnovy razvitiya i rekonstruktsii zhiloy zastroyki: nauchnoe izdanie* [Town-planning bases for the development and reconstruction of residential buildings: a scientific publication]. Under the general editorship of Yu.V. Alekseev. Moscow, ABV, 2009. 640 p. (in Russian)
10. S u b b o t i n O.S. *Osobennosti regeneratsii kvartalov istoricheskoy zastroyki. Chast' II* [Features of regeneration of blocks of historical buildings. P. II]. Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing construction]. 2012. No. 11. Pp. 26–29. (in Russian)
11. M i t y a g i n S.D. *Gradostroitel'stvo. Epokha peremen* [Town planning. The Age of Change]. St. Petersburg: Publishing house «Architect», 2016. 280 p. (in Russian)
12. P u s t o v e t o v G.I., L i k h a c h e v E.N. *Sovremennye tendentsii ekologizatsii ob'ektor sel'skoy sredy* [Modern tendencies of ecologization of objects of rural environment]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2011. No. 4. Pp. 69–74. (in Russian)
13. S a p r y k i n a N.A. *Ekologicheskie priemy formirovaniya arkitekturnykh ob'ektor, ispol'zuyushchikh energosberegayushchie tekhnologii* [Ecological methods of formation of architectural objects using energy-saving technologies]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Vestnik civil engineers]. 2004. No. 1. Pp. 41–45. (in Russian)
14. S u b b o t i n O.S. *Problemy sokhraneniya arkitekturno- gradostroitel'nogo naslediya v usloviyah sovremennoy goroda (na primere Krasnodara)* [Problems of preservation of architectural and town-planning heritage in the conditions of a modern city (by the example of Krasnodar)]. Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing construction]. 2017. No. 7. Pp. 35–40. (in Russian)
15. *Gradostroitel'noe proektirovanie zhilykh territoriy i kompleksov. T. 1. Formirovaniye zhilykh territoriy s novoy zastroykoy: monografiya* [Urban planning of residential areas and complexes. Vol. 1. Formation of residential areas with new buildings: monograph]. Edited by Yu.V. Alekseev and G.Yu. Somov. Moscow, ASV, 2010. 224 p. (in Russian)
16. M o u g h t i n J.C. *Urban Design: Green Demensions*. Oxford, Butterworth-Heinemann, 1996.

УДК 72.035(510)

Т.А. СМОЛЬЯНИНОВА, Н.П. КРАДИН

**ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРЫ
РОССИЙСКО-СОВЕТСКОГО КОНСУЛЬСТВА
В РАЙОНЕ НОВЫЙ ГОРОД г. ХАРБИНА**

Рассматривается архитектура зданий Российского консульства в г. Харбине в районе Новый город (ныне Нангань) в период первой половины XX в. Проанализированы здания, сохранившиеся до нашего времени, обладающие архитектурно-художественной выразительностью и исторической ценностью. Выявлены их стилистические особенности и выполнено краткое историческое описание. В процессе исследования удалось выявить пять зданий, в которых размещалось консульство, одно из них не сохранилось.

Ключевые слова: Маньчжурия, Харбин, архитектура, Российское консульство, КВЖД.

Введение. На протяжении истории Харбина город считался крупным административным центром и важным транспортным узлом, в нем концентрировались традиционные духовные и материальные ценности русской, европейской и китайской культуры.

Актуальность рассматриваемой темы напрямую связана с ценностью русской архитектуры г. Харбина, появившейся на территории Китая и автономно развивающейся после распада Российской империи. Несмотря на то что Харбин построен русскими инженерами и архитекторами, в России эта тема находится на начальном этапе изучения и представляет интерес для исследователей. Данная тема имеет историческую ценность для российского зодчества как архитектурное наследие за пределами государства.

К темам эмиграции обращались А.А. Хисамутдинов и Е.С. Бабкина [1, 2], политические и исторические вопросы поднимались в работах В.Г. Дацышна и В.В. Сушкова [3–5]. Архитектура Северной Маньчжурии, в частности г. Харбина, рассмотрена в работах китайских и российских ученых, описывающих объемно-планировочные и стилистические особенности зданий, выявляющие их принадлежность к европейской архитектуре и стилистике. Так, например, в работе, подготовленной авторским коллективом китайских исследователей [6], опубликованы достаточно проработанные чертежи некоторых сохранившихся объектов. Фотографии периода 1980–1990-х гг., существующих и уже утраченных зданий, формирующих облик г. Харбина, представлены в трудах китайского исследователя Чжан Хуайшэна [7]. Также в европейской и русскоязычной литературе рассматриваются градоформирующие принципы [8]. Н.П. Крадин [9, 10] и С.С. Левошко [11] одни из первых в России заинтересовались наследием русских и европейских зодчих в городах Маньчжурии, а также изучением и анализом архитектуры г. Харбина. В литературных и интернет-источниках, посвященных данной тематике, удалось выявить информацию об утраченных объектах. В качестве источников были

использованы русскоязычные газеты и журналы, выпущенные в Харбине и Сиднее: «Заря», «Рупор», «Вперед» и «Политехник». В исследовании большую роль сыграли материалы фондов Государственного архива Хабаровского края (ГАХК). Базой исследования послужили материалы, выполненные авторами на основе натурных обследований и фотофиксации объектов.

Учитывая важность консульских учреждений ввиду статуса открытого г. Харбина и многонационального его состава, архитектуры этих зданий, исследование представляет интерес, прежде всего, с точки зрения архитектурных особенностей этого типа сооружений – их стилевых, композиционных и планировочных решений. Усиление влияния русской культуры относится к концу XIX в. и продолжается в наше время. Поэтому выявление и сохранение русской архитектуры городов Северной Маньчжурии, ценность которой начала осознаваться сравнительно недавно, нуждается в дальнейшем изучении. Целью статьи – анализ особенностей композиционных и стилистических решений зданий русского консульства в Северной Маньчжурии с конца XIX до середины XX в. *Объектом исследования* выступают здания российско-советского консульства г. Харбина конца XIX – первой половины XX в. *Предмет исследования* является специфика объемно-планировочных, композиционных и стилистических решений зданий консульства.

Методологической базой исследования послужили эмпирические методы, такие как наблюдение и обследование. В работе применена фотофиксация объектов наблюдения и их натурное обследование. В процессе исследования проведен анализ литературы, интернет-источников, архивных, карточеских и фотоматериалов, на основе которых выполнено графическое моделирование объектов историко-архитектурного наследия в векторные изображения, а также составлен краткий исторический очерк объектов наблюдения. Картографический анализ объемно-планировочных структур консульств позволил выявить положение объектов в городской планировке. В основу теоретической базы положен стилистический, планировочный и композиционный анализы. Применен генетический подход, который позволил выявить особенности и связи консульских учреждений в историческом контексте.

Участок бывшей Российской территории, который пролегает в пределах Китая, на протяжении линии Китайской Восточной железной дороги (КВЖД) приобрел значимость не только в культурном плане, но и архитектурном наследии. Постройка КВЖД стимулировала экономический расцвет всей Маньчжурии, связав два государства общей железнодорожной линией. Одним из самых крупных населенных пунктов в Маньчжурии стал г. Харбин и впоследствии превратился в ее административный центр, в котором появилось два основных района: Новый город (административный центр, где расположились учреждения и дома служащих) и Пристань (торгово-промышленный и коммерческий район) [8, 12]. Развитие Харбина представляет интерес для российских исследователей, поскольку с учетом быстро меняющихся условий он формировался намного динамичнее, чем города российского Дальнего Востока.

Открытие границ Харбина для иностранной торговли в 1907 г. вызвало его экономический рост, что привело к большому притоку населения из разных стран [13, 14]. На этом фоне возникла потребность в защите прав и инте-

ресурсов граждан, находящихся за пределами своей страны. Следствием этого стало подписание Российской империей закона «Об утверждении штатов генеральных консульств – в Харбине и Мукдене, консульств – в Цициракар, Гирин и Дальнем и вице-консульств – в Куанченцзы (ныне Чаньчунь)», утвержденного императором Николаем II в Петергофе 2 декабря 1906 г. Согласно этому документу с 1 января 1907 г. в г. Харбине учреждено российское генеральное консульство.

Здания российско-советского консульства. По информации справочника Маньчжурии от 1927 г. в Харбине насчитывалось 16 консульств и дипломатических представительств. В районе Нового города в разные периоды располагались консульства и представительства России, Японии, Великобритании, Италии, Франции, Германии, Америки, Португалии, Чехословакии, Бельгии, Эстонии и Литвы.

В процессе исследования за рассматриваемый период удалось выявить 22 объекта консульств и представительств [15]. Наиболее активно из всех представительств развивалось российское, а позднее и советское консульство. Первым среди консульских учреждений открыто Российское Императорское консульство, которое временно располагалось в здании гостиницы «Ямато-отель» (Хорватовский проспект 31/40) [11].

1. Генеральное консульство Российской империи 1907 г.

Здание построено на углу Хорватовского проспекта и Банковской улицы в 1904 г. по проекту архитектора К.Х. Денисова (рис. 1) и занимает практически весь квартал. Изначально в нем располагалась гостиница, позднее, во время Русско-японской войны, Общество красного креста, а только потом Генеральное консульство Российской империи. Несмотря на то что здание неоднократно перестраивалось, оно сохранило свою стилистику. Здание в плане имеет Г-образную форму, угловая часть скошена под 45°, образуя пятый фасад, в котором расположена входная группа. Выступающий объем фасада со стороны Хорватовского проспекта, в котором размещается парадный зал, выделен пятью крупными окнами в полтора этажа. В эклектичной архитектуре фасадов присутствуют черты модерна и неоклассики [9, 10]. В планировочной структуре квартала объект доминирует над другими зданиями, выходящими на Хорватовский проспект и Банковскую улицу.

2. Императорское Российское Генеральное консульство на Правленской улице 1909–1916 гг.

Консульство построено в 1909 г. по типовому проекту русских архитекторов, занимало выгодное положение в городской застройке, на углу улиц Правленской и Садовой (рис. 2) [9]. В этом здании российское консульство занимало часть помещений на первом этаже. Здесь оно размещалось вплоть до 1920 г., после чего передано русско-китайскому техникуму, преобразованному спустя два года в Политехнический институт.

Российское консульство являлось крупнейшим из всех консульств того времени в г. Харбине. Это двухэтажное здание со скатной кровлей, в плане оно имеет прямоугольную форму. В торцах здания располагались лестницы, ведущие на второй этаж и чердачные помещения. Незначительный выступ на плане подчеркивал крыльцо, немного выводя его вперед. Асимметричный фасад здания акцентировали выступающие пилястры, переходящие в криволинейные элементы, выделяя входную группу и углы постройки.

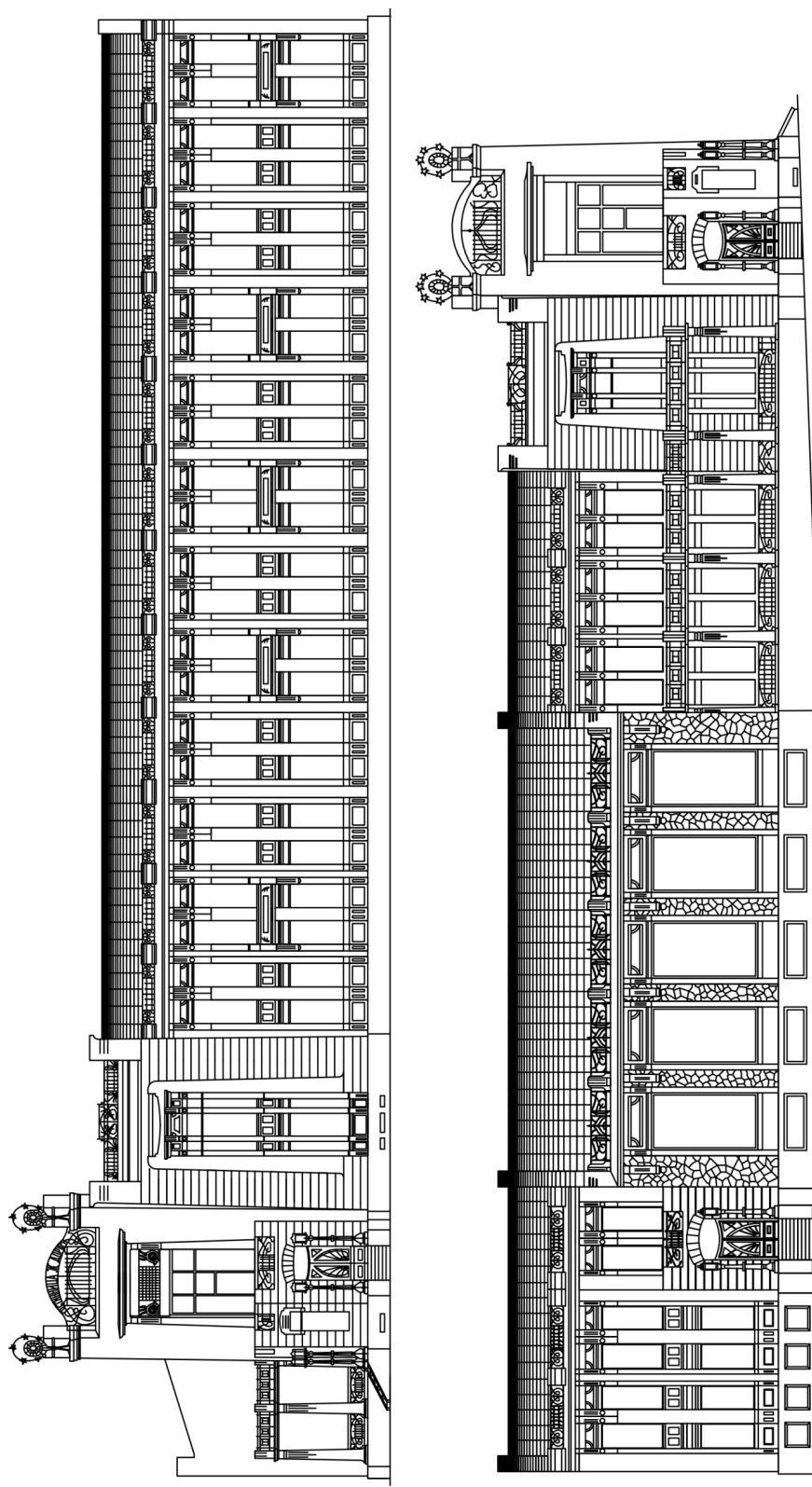


Рис. 1. Генеральное консульство Российской империи. Вверху: фасад со стороны Банковской улицы (Yinhang Street), внизу: фасад со стороны Хорватовского проспекта (Guogeli Dajie)

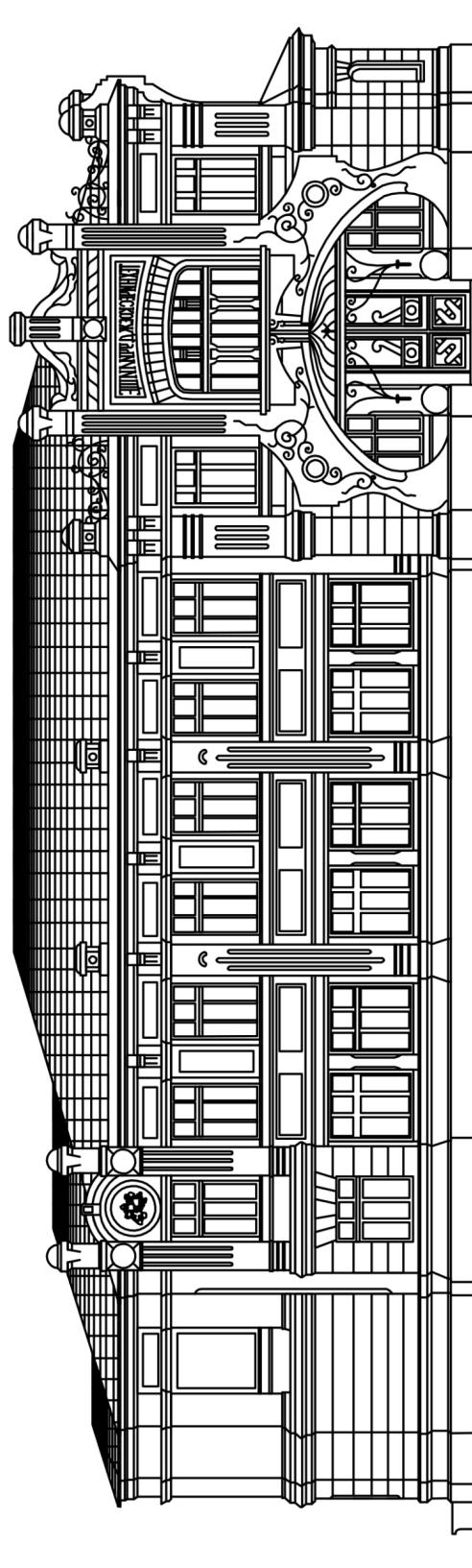


Рис. 2. Российское Императорское консульство на углу Правленской (Jiaohua St.) и Садовой улиц (Fuhua 2nd St.)

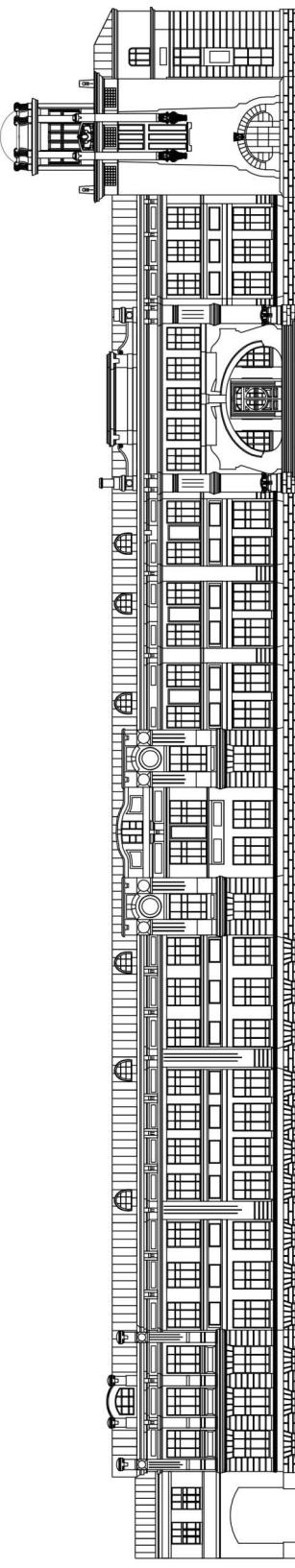


Рис. 3. Российское Императорское консульство. Фасад со стороны Правленской улицы после реконструкции 1953 г.

Архитектура объекта претерпевала изменения, неоднократно производилась его реконструкция. Например, в 1927 г. оно было расширено в сторону Большого проспекта. Появилась новая каменная пристройка в два этажа, где нижний этаж отводился для технического училища, а верхний для подготовительных классов. В полуподвальном помещении оборудован буфет.

Позднее, в 1953 г. здание достроили по проекту архитектора П.С. Свиридова (рис. 3). Постройка стала занимать всю площадь участка вдоль улицы Садовой. С угла пристроена выступающая вертикальная башня с ротондой, а на фасаде появились выразительные барельефы женских лиц [16]. На сегодняшний день в нем располагается музей Политехнического института.

3. Генеральное консульство Союза Советских Социалистических Республик (СССР) 1924–1927 гг.

Как уже отмечалось ранее, консульство располагалось преимущественно в существующих постройках, имеющих презентативный вид и занимающих выгодное местоположение в городе. Так, консульство СССР расположилось в доме коммерсанта Крола по Гиринской улице (рис. 4). Открытие Генерального консульства СССР состоялось 5 октября 1924 г. в 12 ч дня с торжественным концертом и поднятием советского флага.

Двухэтажное здание построено из бетона, имеет прямоугольную форму в плане. Его симметрия, насыщенный цвет и дорические пилястры придавали ему торжественность, строгость и элегантность в стиле неоклассицизма. Основная симметрия фасада подчеркивалась выступающим главным входом с дорическими колоннами, в средней части колонн находится прямоугольный балкон, обращенный на Гиринскую улицу. Арочные окна расположены в простенках между колоннами. На юго-восточном фасаде выступает полуокруглая остекленная терраса с дополнительным выходом на улицу.

В этом здании по Гиринской улице Генеральное консульство СССР находилось непродолжительное время. В 1925 г. консульское представительство переехало по новому адресу, в здание Центросоюза, расположенное на углу Бульварного проспекта и Стрелковой улицы. Причиной столь быстрого

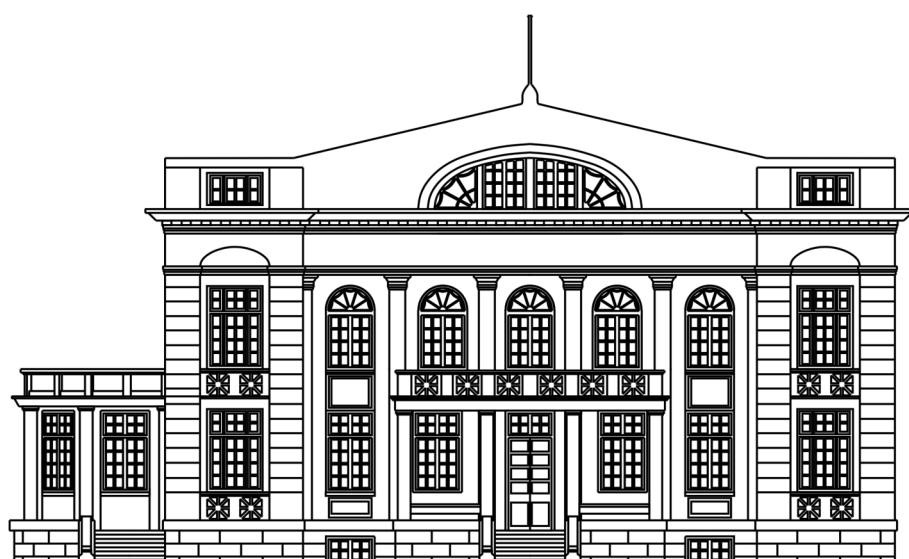
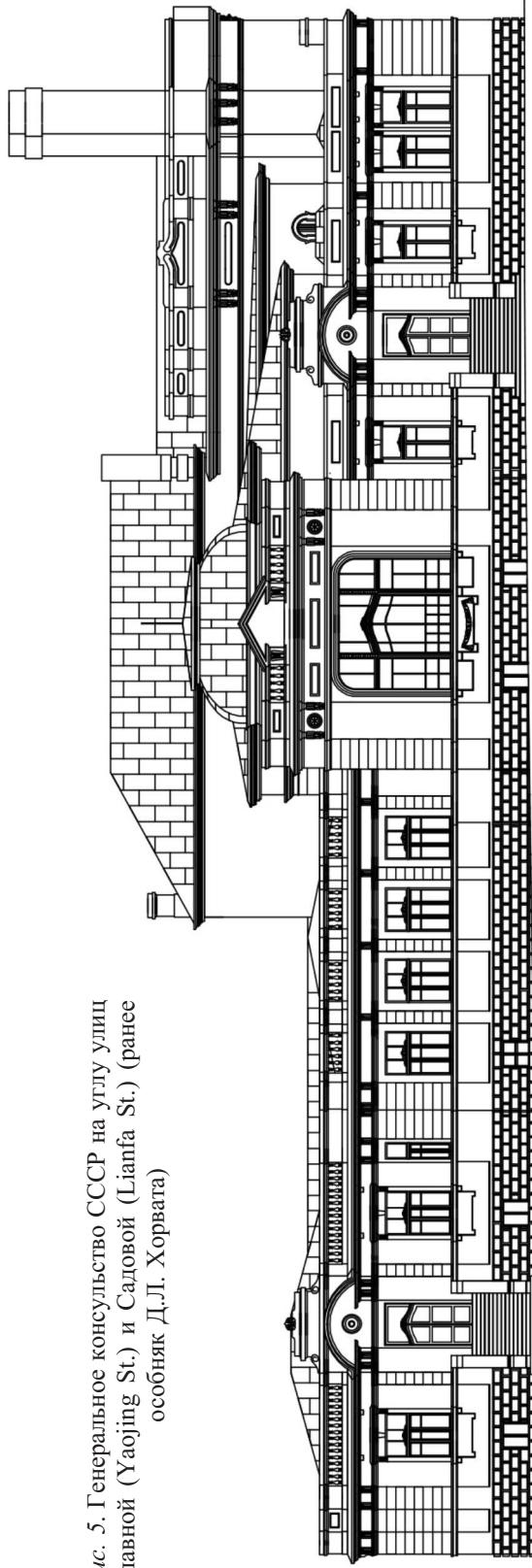


Рис. 4. Генеральное консульство СССР на улице Гиринской (Jilin St.)



переезда консульства послужила высокая оплата за аренду особняка. Несмотря на то что консульство осуществляло свою работу уже в новом помещении, оно числилось по прежнему адресу на Гиринской улице. После инцидента 27 мая 1929 г., когда китайские полицейские ворвались в здание консульства и арестовали сотрудников, по их мнению, группу заговорщиков, консульское учреждение на улице Гириńskiej было закрыто [13]. В настоящее время здание находится в ветхом состоянии и внесено в список памятников архитектуры второй категории.

4. Генеральное консульство Союза Советских Социалистических Республик (СССР) 1927–1929, 1930–1949 гг.

С 1927 г. Генеральное консульство СССР размещалось в особняке на Главной улице, построенном специально для управляющего КВЖД Д.Л. Хорвата в 1902 г. В нем в период с 1907 по 1910-е гг. размещалось Железнодорожное собрание, находилась первая библиотека с читальным залом для служащих и рабочих, закрытая после размещения в здании консульства СССР.

Комплекс зданий на участке выполнен из кирпича и бетона. Особняк, построенный для управляющего КВЖД, ставший местом расположения советского консульского учреждения, имеет в плане Г-образную конфигурацию со встроенным в открытый угол парадным залом площадью 147 м² и зимним садом площадью 120 м² (рис. 5).

Центральный объем здания с большими окнами, расположеннымными несимметрично, увенчен куполом. Входной двухэтажный блок вмещал в себя на первом этаже прихожую с аванзалом, спальную комнату, кабинет и парадную лестницу, а на втором этаже – детскую, гувернантскую и две запасные комнаты, которые были переоборудованы под консульские кабинеты. За этим блоком и залом в один ряд скомпонованы будуар с малой гостиной, большая гостиная, столовая, летняя столовая с буфетом и кухня. Все эти помещения ориентированы окнами в сад, в который из большой гостиной и столовой имелись выходы через специальную веранду и парадную открытую лестницу. В подвальном этаже под кухней размещались помещения для обслуживающего персонала. Разновысокие объемы, сложные формы придавали всему особняку характерные черты модерн [9].

На территории учреждения, в дворовой части, отгороженной забором, располагалось еще одно здание, где проживали работники консульства (рис. 6). Они располагались в квартирах на двух верхних этажах, а в цокольном помещении размещалась столовая. Также на территории располагался сад и волейбольная площадка, теннисный корт и спортивная площадка со снарядами. В зимний период года спортивные площадки заливались под каток [17].



Рис. 6. Генеральное консульство СССР на углу улиц Главной и Садовой

От больших железных ворот на въезде в территорию, где находился контрольно-пропускной пункт, шла асфальтированная дорога для проезда транспорта, огибающая территорию консульства. На подходе к зданию располагались ухоженные цветочные композиции. В 1934 г. из питомника привезли 200 саженцев, которыми засадили двор консульства.

На территории Генеральное консульство СССР находилось и после 1945 г., официально закрыто в 1962 г. В настоящие времена в здании находится библиотека, которая считается самой старой библиотекой в Харбине, а здание находится под охраной государства.

Помимо консульских зданий в ведении представительства находилась типография «Озо», а также участок городской земли, который советское консульство арендовало в 1925 г., находившийся напротив коммерческих училищ железной дороги, рядом с Зеленым базаром. Здесь консульством обустроена спортивная площадка для сотрудников консульского аппарата.

Особенность российско-советского консульства в отличие от иностранных заключается в том, что сооружения построены под нужды Управления КВЖД, иностранные же представлены особняками, доходными домами и частными резиденциями.

Завершая обзор, можно предположить, что выбор зданий не был случайным, здания подбирались по ряду характерных признаков, таких как выгодное местоположение, презентативный вид, наличие собственного участка. Консульство и квартиры консулов размещались в зданиях и особняках, принадлежавших Управлению КВЖД. Так, например, советские консулы Менин и Орлов проживали в домах КВЖД, расположенных на Центральной и Технической улицах, а основная масса консульского аппарата проживала в здании консульств, имея в них апартаменты. Немаловажной чертой всех зданий являлось непременное наличие в них большого зала, где проводились приемы и торжественные вечера.

В ходе исследования выявлены и проанализированы исторические предпосылки появления консульских учреждений в Северной Маньчжурии.

Данное исследование ограничено рассмотрением русско-советской архитектуры консульских учреждений в г. Харбине, как деятельность русских архитекторов и инженеров в Китае. Опыт исследования, выявления зданий консульств в рассматриваемый период будет использован при описании и архитектурно-стилистическом анализе зданий консульств и представительств в городах Северной Маньчжурии в Китае (Харбин, Чаньчунь, Далянь, Маньчжурия, Хайлар, Цицикар, Гирин, Шеньян).

Выводы. Таким образом, за период дипломатических отношений Российской государства и Китая Россия открыла пять консульских учреждений в Харбине. Удалось выявить здания консульств в городской застройке, определить сохранность объектов, до настоящего времени в городе сохранились четыре из них, которые внесены в список архитектурного наследия Харбина, охраняемых государством как архитектурные памятники. Консульские объекты являются плодами творчества русских архитекторов и строителей. Особенностью архитектуры генеральных консульств можно назвать взаимосвязь русского и европейского зодчества, имеющего определенные черты. Доминирующие ризалиты и входные группы являются характерными элементами этого типа сооружений. Архитектура консульства, в частности зда-

ния КВЖД, предопределила современный облик исторического Харбина, так как на начальном этапе формирования застройки главных улиц уже отмечались акцентные места и определялись участки под значимые постройки, ставшие доминантами Нового города.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Русские в Китае. Исторический обзор / под. ред. А.А. Хисамутдинова. Шанхай: Изд. Координационного совета соотечественников в Китае и Русского клуба в Шанхае, 2010. 572 с.
2. Б а б к и н а Е.С. Русская диаспора в Китае в конце XIX – середине XX вв.: условия формирования, демографические характеристики, правовой статус // Вестн. ТОГУ. 2017. № 3(46). С. 235–244.
3. Да цы ш е н В.Г. Консульства Маньчжуо-го в России. Из истории советско-японско-китайских отношений в 1931–1945 гг. // Пробл. Дальнего Востока. 2013. № 5. С. 135–143.
4. Да цы ш е н В.Г. Советско-японские отношения во время конфликта на КВЖД 1929 г. // Японские исследования. 2016. № 1. С. 6–19.
5. С у ш к о в В.В. Становление консульств Российской империи в Китае // Вопросы истории, международных отношений и документоведения: сб. материалов XII Междунар. науч.-практ. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 14–16 апреля 2016 г.). Томск: Изд-во Том. ун-та, 2016. Т. 2. С. 120–125.
6. The Condensed Music. Overview of protected constructions in Harbin / ed. Binyang Yu, Qingguo Xie. Beijing: China Construction Press, 2005. 424 p.
7. Harbin architecture / ed. Huasheng Chang. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1990. 298 p.
8. Ко зыре н ко Н.Е., Хун ве й Я н, И ван о в а А.П. Градостроительное наследие Харбина: монография. Хабаровск: Изд-во Тихookeан. гос. ун-та, 2015. 205 с.
9. К р а д и н Н.П. Харбин – Русская Атлантида. Хабаровск: Хабаровская краевая типография, 2001. 348 с.
10. К р а д и н Н.П. Харбин – Русская Атлантида. Хабаровск: Хабаровская краевая типография, 2010. 368 с.
11. Л е в о ш к о С.С. Русская архитектура в Маньчжурии. Конец XIX — первая половина XX века / отв. ред. Н.П. Крадин. Хабаровск: Частная коллекция, 2003. 176 с.
12. Исторический обзор Китайской Восточной железной дороги 1896–1923. Т. 1 / сост. Е.Х. Нилус. Харбин: Типографии Кит. Вост. жел. дор. и Т-ва «Оз», 1923. 690 с.
13. Политехник. Юбилейный сборник 1969–1979. Сидней, 1979. № 10. 288 с.
14. Великая Маньчжурская империя. К десятилетнему юбилею. Харбин: Изд. Гос. организации Кио-ва-кай и Гл. Бюро по делам рос. эмигрантов в Маньчжурской Империи, 1942. 416 с.
15. С м о л я н и н о в а Т.А. Генеральные консульства, как основа формирования ансамбля улиц г. Харбин (район Новый город) // Вестн. ТОГУ. 2018. № 4(47). С. 141–150.
16. Лю Жао, Лю Соnfу. Международные памятники архитектуры Харбина – архитектурное исследование зданий посольств, расположенных в Харбине // Новые идеи нового века – 2011: Материалы Одиннадцатой междунар. науч. конф. ИАС ТОГУ: в 2 т. Хабаровск: Изд-во Тихookeан. гос. ун-та, 2011. Т. 1. С. 382–385.
17. С ла в у ц к а я А.М. Все, что было... Записки дочери дипломата. М.: Книга и бизнес, 2002. 192 с.

Смольянинова Татьяна Анатольевна, асп., ст. препод.;

E-mail: design.total@yandex.ru

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск

Крадин Николай Петрович, чл.-кор. РААСН, д-р архитектуры, проф.

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск

Получено после доработки 19.06.18

Smol'yaninova Tat'yana Anatol'evna, Post-graduate Student, Senior Lecturer;

E-mail: design.total@yandex.ru

Pacific National University, Khabarovsk, Russia

Kradin Nikolay Petrovich, Corr. Mem. RAACS, DSc, Professor

Pacific National University, Khabarovsk, Russia

FEATURES OF THE ARCHITECTURE OF THE RUSSIAN-SOVIET CONSULATE IN THE NEW CITY AREA OF HARBIN

The architecture of the buildings of the Russian consulate in Harbin in the area of New city (now Nangan) is considered in the article, during the first half of the XX century. The buildings that have survived to our time are analyzed, possessing architectural and artistic expressiveness and historical value. Identified by their stylistic and compositional features with a brief historical description of buildings. In the process of research, it was possible to identify five buildings in which the consulate was located, one of which was not preserved.

К e y w o r d s: Manchuria, Harbin, architecture, Russian consulate, CER.

REFERENCES

1. Russkie v Kitae. Istoricheskiy obzor [The Russians are in China. Historical overview]. Ed. A.A. Khisamutdinov. Shanghai, Coordinating Council of Compatriots in China, 2010. 572 p.
2. B a b k i n a E.S. Russkaya diaspora v Kitae v kontse XIX – seredine XX vv.: usloviya formirovaniya, demograficheskie kharakteristiki, pravovoy status [Russian Diaspora in China at the end of the 19th–the middle of the 20th centuries: conditions of formation, demographic characteristics, legal status]. Vestnik TOGU [Bulletin of PNU]. 2017. No. 3(46). Pp. 235–244. (in Russian)
3. D a t s y s h e n V.G. Konsul'stva Man'chzhou-go v Rossii. Iz istorii sovetsko-yaponsko-kitayskikh otnosheniy v 1931–1945 gg. [Consulates of Manchukuo in Russia. From the history of Soviet-Japanese-Chinese relations in 1931–1945]. Problemy Dal'nego Vostoka [Problems of the Far East]. 2013. No. 5. Pp. 135–143. (in Russian)
4. D a t s y s h e n V.G. Sovetsko-yaponskie otnosheniya vo vremya konflikta na KVZHD 1929 g. [Soviet-Japanese relations during the conflict at the CER in 1929]. Yaponskie issledovaniya [Japanese studies]. 2016. No. 1. Pp. 6–19. (in Russian)
5. S u s h k o v V.V. Stanovlenie konsul'stv Rossiyskoy imperii v Kitae [Formation of consulates of the Russian Empire in China]. Voprosy istorii, mezhdunarodnykh otnosheniy i dokumentovedeniya: sbornik materialov XII Mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh [Question of history, international relations and document science: collection of materials XII International scientific-practical conference of students, undergraduates and young scientists]. Tomsk, Publishing house of Tomsk University, 2016. Vol. 2. Pp. 120–125. (in Russian)

6. The Condensed Music. Overview of protected constructions in Harbin. Ed. Binyang Yu, Qingguo Xie. Beijing, China Construction Press, 2005. 424 p.
7. Harbin architecture. Ed. Huasheng Chang. Harbin, Heilongjiang Science and Technology Press, 1990. 298 p.
8. Kozyrenko N.E., Yang Hongwei, Ivanova A.P. Gradostroitel'noe nasledie Kharbina: monografiya [Urban Heritage of Harbin: monograph]. Khabarovsk, Publishing house of Pacific National University, 2015. 205 p. (in Russian)
9. Kradin N.P. Kharbin – Russkaya Atlantida [Harbin–Russian Atlantis]. Khabarovsk, Khabarovskaya kraevaya tipografiya, 2001. 348 p. (in Russian)
10. Kradin N.P. Kharbin – Russkaya Atlantida [Harbin–Russian Atlantis]. Khabarovsk, Khabarovskaya kraevaya tipografiya, 2010. 368 p. (in Russian)
11. Levoshko S.S. Russkaya arkhitektura v Man'chzhurii. Konets XIX — pervaya polovina XX veka [Russian architecture in Manchuria. End of XIX–first half of the XX century]. Ed. N.P. Kradin. Khabarovsk, Chastnaya kolleksiya, 2003. 176 p. (in Russian)
12. Istoricheskiy obzor Kitayskoy Vostochnoy zheleznoy dorogi 1896–1923 [Historical overview of China Eastern Railway 1896–1923]. Vol. 1. Originator E.Kh. Nilus. Kharbin, Tipografii Kitayskoy Vostochnoy zheleznoy dorogi i Tovarishchestva «Ozo», 1923. 690 p.
13. Politehnika. Yubileynyy sbornik 1969–1979 [Polytechnic. Jubilee collection 1969–1979]. Sidney, 1979. No. 10. 288 p. (in Russian)
14. Velikaya Man'chzhurskaya imperiya. K desyatiletнемu yubileyu [The Great Manchu Empire. To the tenth anniversary]. Kharbin, Izdanie Gosudarstvennoy organizatsii Kio-va-kay i Glavnogo Byuro po delam rossiyskikh emigrantov v Man'chzhurskoy Imperii, 1942. 416 p. (in Russian)
15. Smol'yaninova T.A. General'nye konsul'stva, kak osnova formirovaniya ansambyla ulits g. Kharbin (rayon Novyy gorod) [General Consulates as the Basis for the Formation of the Streets Ensemble in Harbin (the District of the Novyi Gorod)]. Vestnik TOGU [Bulletin of PNU]. 2018. No. 4(47). Pp. 141–150. (in Russian)
16. Lyu Zhao, Lyu Sonfu. Mezhdunarodnye pamyatniki arkhitektury Kharbina – arkhitekturnoe issledovanie zdaniy posol'stv, raspolozhennykh v Kharbine [International architectural monuments of Harbin – architectural study of Embassy buildings located in Harbin]. Novye idei novogo veka – 2011: Materialy odinnadtsatoy mezhdunar. nauchnoy konferentsii IAS TOGU [The Eleven International Scientific Conference Proceedings of the IACE PNU «New ideas of the new century – 2011»]. Khabarovsk, Publishing house of Pacific National University, 2011. Vol. 1. Pp. 382–385. (in Russian)
17. Slavutskaya A.M. Vse, chto bylo... Zapiski docheri diplomata [All that was ... Notes of a diplomat's daughter]. Moscow, Kniga i biznes, 2002. 192 p. (in Russian)

В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ



УДК 631.234 : 535.24

А.А. БЛАЖНОВ

О ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ КОНВЕКТИВНЫХ ТЕПЛОПОТЕРЬ В АНГАРНЫХ ТЕПЛИЦАХ

На модели ангарной (однопролетной) арочной теплицы определялось изменение средней температуры поверхности ограждения при различном расположении модели к создаваемому воздушному потоку. Установлено влияние ориентации модели сооружения на изменение конвективных теплопотерь. По результатам эксперимента предложено энергоэкономичное расположение ангарной теплицы на участке строительства.

Ключевые слова: модель теплицы, воздушный поток, конвективные теплопотери, ориентация теплицы.

Эксплуатация зимних (круглогодового использования) однопролетных теплиц с ограждающими конструкциями из поликарбонатных панелей (рис. 1) характеризуется значительными тепловыми потерями в холодный период года, большую часть которых составляют теплопотери конвективным теплообменом. Нормы проектирования теплиц СП 107.13 330.2012 не содержат указаний по энергоэкономичному расположению культуривационных сооружений на участке строительства. В связи с этим цель исследования, ранее не проводившегося, предусматривала определение рациональной ориентации однопролетных теплиц с учетом климатических особенностей конкрет-



Рис. 1. Ангарная теплица с кровлей из поликарбонатных панелей

ного региона, позволяющей уменьшить конвективные теплопотери в период эксплуатации.

Тепловой поток q_k , Вт/м², передаваемый при конвективном теплообмене от поверхности ограждающей конструкции в наружную среду, в практических расчетах определяется по формуле Ньютона [1–3]

$$q_k = \alpha_k (t_p - \tau), \quad (1)$$

где α_k – коэффициент конвективной теплоотдачи на поверхности стенки, Вт/(м² · °C);

t_p и τ – температуры поверхности стенки и наружной среды, °C.

Коэффициент конвективной теплоотдачи зависит от ряда факторов, к которым относятся расположение обдуваемых ветром поверхностей ограждающих конструкций и скорость движения воздуха [1, 3–5]. Так, при увеличении скорости ветра от 0,5 до 10 м/с коэффициент α_k увеличивается с 3,6 до 39,8 Вт/(м² · °C) [6]. Приведенные данные показывают возможность уменьшения конвективного теплообмена на наружной поверхности ограждающих конструкций при рациональном размещении культивационного сооружения относительно преобладающего направления ветра в холодный период года (декабрь – февраль), указанного для различных пунктов в СП 131. 13 330. 2012 «Строительная климатология». Например, в Орле в январе преобладает южный ветер, а повторяемость от общего числа наблюдений южного, юго-западного и юго-восточного ветров за три зимних месяца составляет 50 %.

Охлаждающее действие ветра на ангарную теплицу устанавливалось по изменению средней температуры наружной поверхности модели, располагавшейся различно по отношению к воздушному потоку, создаваемому вентиляционной установкой (рис. 2).

Модель теплицы выполнялась в масштабе 1:15 по отношению к культивационному сооружению пролетом 6 м, соотношение сторон в плане составляло 1:1,75. В качестве ограждающей конструкции использовался теплоизоляционный материал Изолон толщиной 1 см, по термическому сопротивлению примерно соответствующий сотовому поликарбонату толщиной 10 мм.

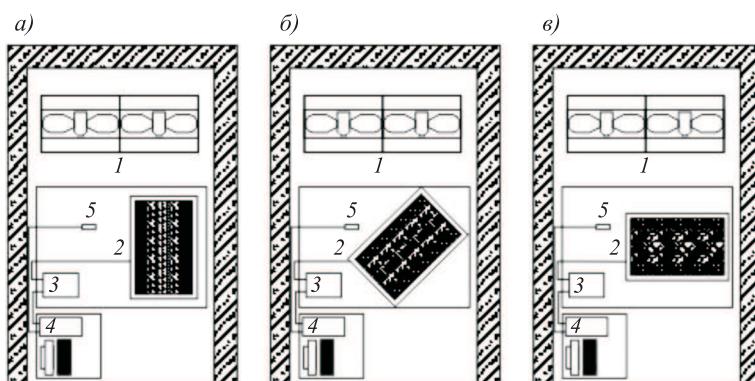


Рис. 2. Схема эксперимента по определению теплосъема с поверхности модели сооружения

a – ветер вдоль; *б* – ветер 45°; *в* – ветер поперек

1 – вентилятор; 2 – модель сооружения; 3 – мультиметр (регистратор);
4 – ПК; 5 – оптический пиrometer

Принудительное движение воздуха осуществлялось вентиляционной установкой с двумя вентиляторами общей мощностью 1 кВт. Скорость воздушного потока измерялась анемометром АПР-2 и равнялась примерно 5 м/с, что характерно для осредненных неблагоприятных зимних условий на преобладающей территории равнинных районов европейской части страны. Создаваемая электронагревателем температура воздуха внутри модели и наружная температура измерялись датчиками, в точках на поверхности модели температура определялась пирометром Impac IN15. Показания датчиков и пирометра выводились на компьютер, для обработки результатов измерений использовалась программа MS Excel.

Точность и надежность эксперимента зависят от изменчивости изучаемого признака, точности исследования, выражаемой показателем точности, а также от принятой вероятности получаемого результата [7]. Объем выборки точек на поверхности модели теплицы N определялся по формуле [8]

$$N = \frac{v^2 t^2}{p^2}, \quad (2)$$

где v – коэффициент вариации, установленный по предварительным замерам и равный 4,5 %;

p – показатель точности, принятый равным 2 %;

t – показатель достоверности, равный 2,58 и соответствующий вероятности результата 0,99.

Полученные после обработки экспериментальных данных результаты приведены в таблице.

Результаты эксперимента

Наименование величин	Необдуваемая поверхность модели (1)	Направление воздушного потока к продольной оси модели		
		вдоль (2)	45° (3)	поперек (4)
Число наблюдений	162	162	162	162
Средняя температура поверхности модели, °C	27,6	25,9	25,7	25,6
Среднее квадратическое отклонение, °C	1,004	0,368	0,229	0,25
Средняя ошибка среднего арифметического, °C	0,079	0,029	0,018	0,019

Оценка достоверности разницы (T_{ij}) средних значений температур поверхности модели по двум сопоставляемым совокупностям определялась по формуле [9–11]

$$T_{ij} = \frac{M_i - M_j}{\sqrt{m_i^2 + m_j^2}} > 3, \quad (3)$$

где M_i и M_j – средние арифметические значения температуры;

m_i и m_j – средние ошибки средних арифметических.

По результатам эксперимента достоверно установлено понижение средней температуры поверхности модели при воздействии ветрового потока ($T_{12} = 20,2 > 3$; $T_{13} = 23,3 > 3$; $T_{14} = 24,5 > 3$). Аналогичное изменение средней

температуры происходило при увеличении угла падения ветрового потока по отношению к продольной оси модели от 0 до 90° ($T_{23} = 5,68 > 3$; $T_{24} = 8,52 > 3$).

Заключение. Показано охлаждающее действие воздушного потока на поверхность модели теплицы при различной ее ориентации.

Установлено увеличение конвективной теплоотдачи поверхностью модели при изменении направления воздушного потока по отношению к ее продольной оси от 0 до 90° .

Основываясь на результатах эксперимента, однопролетные теплицы на участке строительства для снижения тепловых потерь рекомендуется располагать торцами к преобладающему в данном пункте направлению ветра в холодный период года.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авделимов Е.М., Жила В.А., Жуйкова Л.И., Кузнецов В.А., Павлов Н.Н., Саргсян С.В., Хаванов П.А. Инженерные системы зданий и сооружений. Теплогазоснабжение и вентиляция. М.: Академия, 2014. 320 с.
2. Малавина Е.Г. Строительная теплофизика. М.: МГСУ, 2011. 152 с.
3. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
4. Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика. М.: Техносфера, 2005. 536 с.
5. Дьяконов В.Г., Лонщаков О.А. Основы теплопередачи. Казань: КНИТУ, 2011. 230 с.
6. Ильинский В.М. Строительная теплофизика. М.: Выш. шк., 1974. 320 с.
7. Леонтьев Н.Л. Техника статистических вычислений. М.: Лесн. пром-сть, 1966. 250 с.
8. Болдин А.П., Максимов В.А. Основы научных исследований. М.: Академия, 2012. 336 с.
9. Артамонов М.Ф., Глазунов О.О., Красов В.И., Кринберг И.А., Паперный В.Л., Чумак В.В. Компьютерные технологии в физике. Ч. 2. Эксперимент с компьютерной поддержкой. Иркутск: ИГУ, 2006. 64 с.
10. Лисицын Ю.П. Общественное здоровье и здравоохранение. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. 512 с.
11. Вавилова Г.В. Математическая обработка результатов измерения. Томск: Том. политехн. ун-т, 2013. 167 с.

Блажнов Александр Александрович, канд. техн. наук, доц.;

E-mail: blazhnov47@mail.ru

Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина

Получено 18.06.18

Blazhnov Alexander Alexandrovich, PhD, Ass. Professor; E-mail: blazhnov47@mail.ru
Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Russia

ON THE POSSIBILITY OF REDUCING CONVECTIVE HEAT LOSS IN THE HANGAR GREENHOUSES

On the model of the hangar (single-span) arched greenhouse, the change in the average temperature of the fence surface was determined at different locations of the model to the created air flow. The influence of the structure model orientation on the convective heat loss

change is established. According to the results of the experiment, the energy-efficient location of the hangar greenhouse on the construction site is proposed.

K e y w o r d s: greenhouse model, air flow, convective heat loss, greenhouse orientation.

REFERENCES

1. A v d o l i m o v E.M., Z h i l a V.A., Z h u y k o v a L.I., K u z n e t s o v V.A., P a v l o v N.N., S a r g s y a n S.V., H a v a n o v P.A. Inzhenernye sistemy zdaniy i sooruzheniy. Teplogazosnabzhenie i ventilyatsiya [Engineering systems of buildings and structures. Heat and gas supply and ventilation]. Moscow, Academy, 2014. 320 p. (in Russian)
 2. M a l y a v i n a E.G. Stroitel'naya teplofizika [Construction Thermophysics]. Moscow, MGSU, 2011. 152 p. (in Russian)
 3. F o k i n K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastey zdaniy [Construction heat engineering of enclosing parts of buildings]. Moscow, AVOK-PRESS, 2006. 256 p. (in Russian)
 4. B l a z i V. Spravochnik proektirovshchika. Stroitel'naya fizika [Designer's Guide. Building physics]. Moscow, Technosphere, 2005. 536 p. (in Russian)
 5. D ' y a k o n o v V.G., L o n s h c h a k o v O.A. Osnovy teploperedachi [Fundamentals of heat transfer]. Kazan, KNRTU, 2011. 230 p. (in Russian)
 6. I l ' i n s k i y V.M. Stroitel'naya teplofizika [Construction thermophysics]. Moscow, Higher school, 1974. 320 p. (in Russian)
 7. L e o n t ' e v N.L. Tekhnika statisticheskikh vychisleniy [Statistical computing techniques]. Moscow, Forest industry, 1966. 250 p. (in Russian)
 8. B o l d i n A.P., M a k s i m o v V.A. Osnovy nauchnykh issledovaniy [Fundamentals of scientific research]. Moscow, Academy, 2012. 336 p. (in Russian)
 9. A r t a m o n o v M.F., G l a z u n o v O.O., K r a s o v V.I., K r i n b e r g I.A., P a p e r n y y V.L., C h u m a k V.V. Komp'yuternye tekhnologii v fizike. Chast' 2. Eksperiment s komp'yuternoy podderzhkoy [Computer technologies in physics. Part 2. Experiment with computer support]. Irkutsk, ISU, 2006. 64 p. (in Russian)
 10. L i s i t s y n Yu.P. Obshchestvennoe zdorov'e i zdravookhranenie [Public health and health care]. Moscow, GEOTAR-Media, 2010. 512 p. (in Russian)
 11. V a v i l o v a G.V. Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov izmereniya [Mathematical processing of measurement results]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University, 2013. 167 p. (in Russian)
-

ДОСТИЖЕНИЯ НАУКИ – ПРОИЗВОДСТВУ



УДК 628.162

Ю.Л. СКОЛУБОВИЧ, Е.Л. ВОЙТОВ, Д.Д. ВОЛКОВ, Е.С. ГОГИНА

ПРИМЕНЕНИЕ ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Специальные сравнительные исследования по применению гипохлорита натрия и жидкого хлора для обеззараживания поверхностных и подземных природных вод с высоким содержанием органических веществ проведены на полупромышленных установках и производственных водоочистных сооружениях. Они показали, что гипохлорит натрия позволяет обеспечить безопасность производства, по бактерицидному действию равнозначен жидкому хлору, но снижает дозу хлора при предварительном хлорировании и вторичном хлорировании до 30 %, а суммарное содержание галогенорганических соединений в воде, обрабатываемой гипохлоритом натрия, в среднем на 25 % ниже, чем в воде, обрабатываемой жидким хлором.

Ключевые слова: гипохлорит натрия, обеззараживание, органические соединения, свободный хлор, химический гипохлорит, электрохимический гипохлорит.

В настоящее время для обеззараживания воды все чаще используют вместо жидкого хлора гипохлорит натрия (химический или электролитический) [1–6]. При использовании гипохлорита натрия вместо жидкого хлора отпадает необходимость подщелачивания воды, так как он содержит 40–90 г/л щелочи. Специальные исследования изменения концентрации остаточного свободного хлора в воде, хлорированной гипохлоритом натрия и жидким хлором, показали, что хлор из воды, обработанной жидким хлором, практически полностью улетучивается через несколько часов, а в воде с обработкой гипохлоритом изменяется очень незначительно и через сутки.

Таким образом, по консервирующей способности гипохлорит значительно превосходит жидкий хлор, что имеет большое значение для хранения питьевой воды и ее транспортировки в удаленные точки разводящих водопроводных сетей большой протяженности. Это устраняет необходимость аммонизации или дополнительного хлорирования воды с целью увеличения продолжительности бактерицидного действия при длительном хранении или транспортировке по водоводам и сетям [7, 8].

При хлорировании воды гипохлоритом натрия скорость коррозии стальных трубопроводов в 4–20 раз ниже, чем при использовании жидкого хлора и

© Сколубович Ю.Л., Войтов Е.Л., Волков Д.Д., Гогина Е.С., 2018

находится в пределах 0,0058–0,020 мм/год, что в 2,5–8,5 раз ниже рекомендованного ВТИ уровня коррозионной активности воды. Это дает значительный экономический эффект за счет увеличения срока службы и технологического оборудования.

На порядок возрастает безопасность транспортировки, хранения и применения хлорреагента при эксплуатации водоочистных сооружений. В настоящее время он используется на нескольких водопроводных станциях Сибири (Кемерово, Томска и др.) производительностью до 200 тыс. м³/сут. Однако вопрос применения ГХН для обеззараживания природных вод из

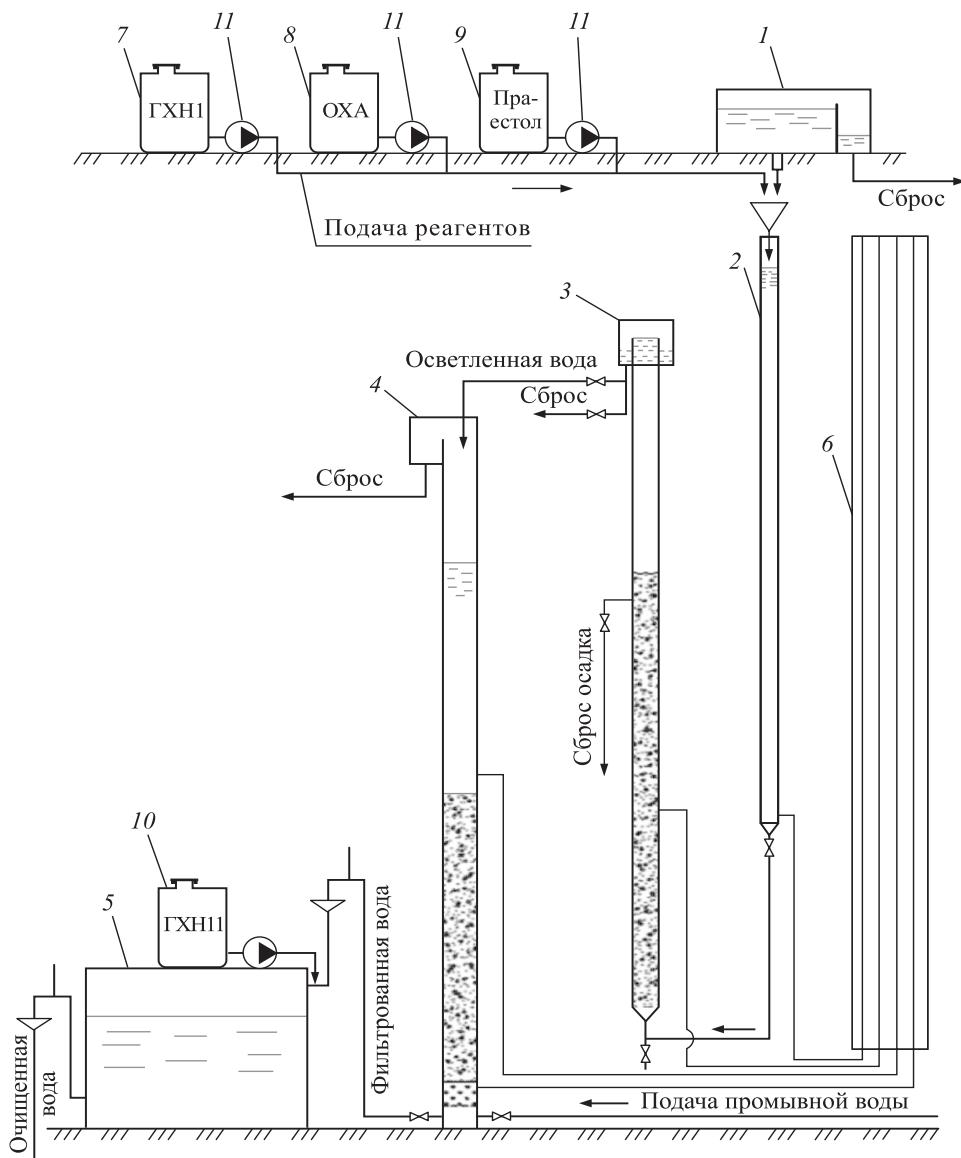


Рис. 1. Схема экспериментальной установки НФС г. Искитима

1 – бак постоянного уровня; 2 – воздухоотделитель; 3 – осветлитель с взвешенным осадком; 4 – скорый фильтр; 5 – бак очищенной воды; 6 – пьезометрический щит; 7 – бак гипохлорита натрия для предварительного хлорирования воды; 8 – бак коагулянта; 9 – бак флокулянта; 10 – бак гипохлорита для вторичного хлорирования; II – дозировочные насосы

источников с повышенным содержанием органических соединений был изучен недостаточно и требовал дополнительной проработки.

Исследования по обеззараживанию речных вод техническим гипохлоритом натрия при подготовке водопроводной воды проведены на водоочистных станциях г. Новосибирска, Искитима (Новосибирской обл.), Ачинска (Красноярского края), Березовского (Кемеровской обл.) [7–9].

В г. Искитиме экспериментальные исследования проводились на городской водоочистной станции. Схема полу производственной экспериментальной установки по очистке и обеззараживанию речной воды в г. Искитиме Новосибирской области представлена на рис. 1.

Установка моделировала производственные водоочистные сооружения, на которых обеззараживание проводилось жидким хлором. Обеззараживание обрабатываемой воды на установке и производственных сооружениях производилось в два этапа: предварительное и вторичное. Предварительное хлорирование сырой воды обеспечивало хорошее санитарное состояние самих сооружений очистки и способствовало процессам коагуляции, окисляя органические вещества, тормозящие этот процесс, т.е. уменьшению дозы коагулянта. Вторичное хлорирование уже профильтрованной воды применялось для окончательного удаления микроорганизмов, бактерий и придания ей качества питьевой воды.

На производственных сооружениях раствор жидкого хлора вводился перед смесителем и после фильтров перед РЧВ. На экспериментальной установке раствор гипохлорита натрия вводился в исходную воду перед воздухоотделителем и после фильтра перед баком очищенной воды с помощью дозировочных насосов.

Сравнительные результаты качества питьевой воды, обработанной гипохлоритом натрия на экспериментальной установке и жидким хлором на производственных очистных сооружениях, представлены в табл. 1 и 2.

По результатам проведенных экспериментальных исследований установлено, что питьевая вода, обработанная гипохлоритом натрия, отвечала нормативным требованиям¹, а по ряду показателей превышала качество воды, хлорированной жидким хлором, в частности, по мутности, цветности, окисляемости, содержанию железа, марганца и хлорорганических соединений. При предварительном хлорировании речной воды техническим гипохлоритом натрия на установке была снижена необходимая доза хлора в 1,25–1,35 раза по сравнению с хлорированием жидким хлором на производственных сооружениях для достижения нормируемой величины остаточного хлора. Аналогичные результаты получены при проведении экспериментальных научно-исследовательских работ по обеззараживанию речных вод в г. Новосибирске, Ачинске, Березовском [4].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение гипохлорита натрия снижает дозу хлора до 30 %. По бактерицидному действию гипохлорит натрия равносечен жидкому хлору, а суммарное содержание га-

¹ СанПин 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. 103 с.

Т а б л и ц а 1. Сравнительные результаты исследования качества очищаемой речной воды с использованием гипохлорита натрия на экспериментальной установке и жидкого хлора на водоочистной станции г. Искитима

Осредненные показатели качества очищаемой речной воды	Месяц проведения эксперимента в 2005 г.					
	май		июнь		июль	
	ГХН	хлор	ГХН	хлор	ГХН	хлор
Концентрация общего хлора в воде, мг/л:						
речной хлорированной	2,4	3,1	2,1	2,6	2,3	3,0
фильтрованной	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
после бака чистой воды	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5
Мутность воды, мг/л:						
речной хлорированной	27	27	17	17	2,6	2,6
фильтрованной	0,5	0,7	0,8	0,9	0,6	0,9
после бака чистой воды ПДК = 1,5 мг/л	0,3	0,6	0,6	0,8	0,5	0,8
Цветность воды, град.:						
речной хлорированной	60	60	31	31	26	26
фильтрованной	12	13	6	8	5	6
после бака чистой воды ПДК = 20 град.	11	12	5	7	5	6
Окисляемость воды, мг О ₂ /л:						
речной хлорированной	4,6	4,6	4,9	4,9	3,9	3,9
фильтрованной	2,0	2,3	2,8	3,0	3,1	3,2
после бака чистой воды ПДК = 5 мг О ₂ /л	1,9	2,1	2,6	2,7	3,0	3,1
Содержание железа в воде:						
речной хлорированной	0,59	0,59	0,14	0,14	0,19	0,19
фильтрованной	0,14	0,19	0,05	0,07	0,06	0,08
после бака чистой воды ПДК = 0,3 мг/л	0,15	0,19	0,04	0,06	0,05	0,08
Содержание марганца в воде:						
речной хлорированной	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,07
фильтрованной	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02
после бака чистой воды ПДК = 0,1 мг/л	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02

П р и м е ч а н и я: 1. Средняя доза хлора при предварительном хлорировании составила 2,3 и 2,9 мг/л для гипохлорита натрия и жидкого хлора соответственно, при вторичном хлорировании – 0,5 и 0,7 мг/л соответственно. 2. Средняя доза коагулянта равнялась 3,0 мг/л, флокулянта – 0,1 мг/л.

логенорганических соединений в воде, обрабатываемой гипохлоритом натрия, в среднем на 25 % ниже, чем в воде, обрабатываемой жидким хлором.

Остаточное содержание химических, органических примесей и бактериологических загрязнений в воде, подготовленной с использованием гипохлорита натрия, либо ниже, либо на одном уровне в воде, обработанной жидким хлором, и отвечает нормативным требованиям.

Результаты экспериментальных исследований позволили разработать технологические схемы обеззараживания речных вод техническим гипохлоритом натрия в г. Новосибирске, Искитиме, Куйбышеве, Ачинске, рассчитать конструктивные и технологические параметры оборудования по транспорти-

Таблица 2. Сравнительные результаты исследования качества питьевой воды по содержанию хлорорганических соединений и микробиологическим показателям на экспериментальной установке и водоочистной станции г. Искитима

Наименование показателя, единица измерения	Установка, хлорреагент – ГХН	Станция водоочистки, хлорреагент – жидкий хлор	Нормативы ¹
Хлорорганические соединения: хлороформ, мг/л	0,024	0,035	0,10
дихлорбромметан, мг/л	0,008	0,012	0,06
хлористый метилен, мг/л	<0,005	<0,005	7,50
1,2-дихлорэтан	<0,005	<0,005	0,03
дибромхлорметан, мг/л	<0,001	<0,001	0,10
трихлорэтилен, мг/л	<0,001	<0,001	0,07
тетрахлорэтилен	<0,001	<0,001	0,04
четыреххлористый углерод	<0,001	<0,001	0,006
Микробиологические показатели: общее микробное число (ОМЧ), количество в 1 мл	2	2	≤50
общие колiformные бактерии (ОКБ), количество в 100 мл	Отсутствуют в 100 мл	Отсутствуют в 100 мл	Отсутствуют в 100 мл
термотолерантные колiformные бактерии (ТКБ), количество в 100 мл	Отсутствуют в 100 мл	Отсутствуют в 100 мл	Отсутствуют в 100 мл

ровке, хранению, перекачке товарного гипохлорита, приготовлению и дозированию его рабочих растворов, а также разработать рекомендации по реконструкции существующих хлораторных водоочистных станций этих городов. В настоящее время хлораторные реконструированы и находятся в промышленной эксплуатации. Реконструированные хлораторные для станций г. Ачинска ($Q = 100$ тыс. м³/сут) и п. Ягуновская ($Q = 60$ тыс. м³/сут) показаны на рис. 2, а и б.

Результаты исследования качества очищаемых речных вод с обеззараживанием гипохлоритом натрия в период проведения испытаний работы водоизaborных и очистных сооружений после реконструкции хлораторных приведены в табл. 3.

Анализ результатов производственных испытаний показал, что сооружения очистки и обеззараживания после реконструкции хлораторных по основным показателям обеспечивали качество очищенной речной воды, соответствующее питьевым нормам, включая микробиологические, органолептические, обобщенные показатели, а также содержание неорганических, органических веществ и хлорорганических соединений². Установлено сни-

² ГН 2.1.5.2280–07 «Предельные допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». Утв. Постановл. гл. сан. врача РФ 28.08.07. № 7.



Рис. 2. Хлораторные обеззараживания вод гипохлоритом натрия
а – речной воды в г. Ачинске; б – подземной воды в п. Ягуновская

жение общей среднегодовой дозы хлора с применением ГХН вместо жидкого хлора на 30 %, что совпадает с результатами предварительных экспериментальных исследований.

Гигиеническая оценка гипохлорита натрия показала его равнозначность жидкому хлору по бактерицидному действию. Вместе с тем при обработке воды ГХН снизилось содержание хлорорганических соединений в ней на 10–15 %, а также уменьшилась токсичность воды. В целом технология транспортировки, хранения товарного гипохлорита натрия, приготовления и дозирования его рабочего раствора показала себя безопасной и простой.

Исследования по обеззараживанию подземных вод проведены на станции подготовки питьевой воды из подземного источника водоснабжения Сибирского отделения Российской академии наук в г. Новосибирске. Установка состояла из контактного бака, моделирующего производственные резервуары чистой воды, и оборудования по приготовлению рабочего раствора и до-

Применение гипохлорита натрия для обеззараживания природных вод...

Т а б л и ц а 3. Результаты исследования качества очищаемых речных вод по содержанию хлорорганических соединений и микробиологическим показателям при обеззараживании ГХН на НФС г. Новосибирска и Ачинска

Показатель качества	Норма СанПин 2.1.4.1074-01	г. Новосибирск, 2004, март, р. Обь		г. Ачинск, 2006, март, р. Чулым	
		исходная	питьевая	исходная	питьевая
<i>Хлорорганические соединения, мкг/л</i>					
Хлороформ	200	1,0	1,5	1,0	1,5
1,2 - Диchlорэтан	30	н/о	н/о	н/о	н/о
4- хлористый углерод	6	0,01	0,01	н/о	0,02
Тетрахлорэтilen	40	н/о	0,3	н/о	0,3
Трихлорэтilen	70	0,1	н/о	н/о	н/о
Тетрахлорэтан	2000	н/о	н/о	н/о	н/о
Бромдихлорметан	30	0,1	0,2	н/о	0,1
Дибромхлорметан	30	0,2	0,4	н/о	0,3
Бромоформ	100	н/о	н/о	н/о	н/о
<i>Микробиологические показатели, КОЕ/мг/л</i>					
ОМЧ	50	23	1	90	4
ОКБ	Отсутствует	177	н/о	248	н/о
ТКБ	Отсутствует	39	н/о	248	н/о
Колифаги	Отсутствует	н/о	н/о	н/о	н/о

П р и м е ч а н и е. н/о – не обнаружено.

зированию ГХН. В начало бака подавалась вода из скважин после ее аэрации и фильтрования на производственных сооружениях до введения в воду жидкого хлора из хлораторной. Одновременно в исходную воду перед установкой вводился дозированным расходом раствор гипохлорита натрия. После 30-минутного контакта воды с хлором в проточном режиме производился выпуск хлорированной воды из конца контактного бака. В процессе обработки воды гипохлоритом натрия отбирались и анализировались пробы воды на содержание активного хлора в них до и после контактного бака. Кроме того, производился сравнительный анализ качества воды, обработанной гипохлоритом натрия на экспериментальной установке и жидким хлором на производственных сооружениях, по основным показателям химического состава, органолептическим и микробиологическим показателям качества питьевой воды. Результаты анализа показали, что питьевая вода, обработанная гипохлоритом натрия, отвечает нормативным требованиям¹, а по ряду показателей превышает качество воды, хлорированной жидким хлором, в частности, по мутности, цветности, содержанию марганца, аммиака, нитритов, фенолов и хлорорганических соединений [10]. Сравнительные результаты качества питьевой воды по содержанию хлорорганических соединений с использованием ГХН жидкого хлора представлены в табл. 4.

На основании результатов научно-исследовательских работ разработана технологическая схема обеззараживания воды техническим гипохлоритом

Т а б л и ц а 4. Сравнительные результаты качества питьевой воды по содержанию хлорогранических соединений с использованием ГХН на установке и жидкого хлора на водоочистной станции СО РАН г. Новосибирска

Наименование компонентов	ПДК, мкг/л	Содержание компонентов, мкг/л	
		ГХН	хлор
Хлороформ	200	10,4	45,5
1,2-Дихлорэтан	30	н/о	н/о
Четыреххлористый углерод	6	н/о	н/о
Трихлорэтилен	70	н/о	н/о
Бромдихлорметан	30	н/о	н/о
Дибромхлорметан	30	н/о	н/о
Бromoформ	100	н/о	н/о
Фенол	1	0,024	0,027
2-Хлорфенол	1	0,0004	0,0004
2-Метилфенол	100	0,001	0,009
4-Метилфенол	4	0,009	0,009
2,6-Диметилфенол	250	н/о	0,019
2,4-Дихлорфенол	2	0,0004	0,0004
4-Хлорфенол	1	0,0001	0,0002
2,4,6-Трихлорфенол	4	н/о	н/о
Пентахлорфенол	10	н/о	н/о

П р и м е ч а н и е. Анализы выполнены аккредитованным аналитическим испытательным центром НИОХ СО РАН 08.02.2002 г.

натрия для водоочистной станции СО РАН г. Новосибирска. ОАО «КемВод» г. Кемерово выполнило проект реконструкции существующей хлораторной водоочистной станции производительностью 14 тыс. м³ в сутки. Действующая в настоящее время производственная установка хранения технического гипохлорита натрия, приготовления и дозирования его рабочего раствора проста в эксплуатации и обеспечивает получение кондиционной питьевой воды улучшенного качественного состава, в том числе по содержанию хлорогранических соединений¹. Применение технического гипохлорита натрия позволило снять проблему дефицитности поставки, безопасности транспортировки, хранения и применения хлорреагента, связанную с обеззараживанием воды жидким хлором без увеличения эксплуатационных затрат.

Исследования по обеззараживанию подземных вод техническим гипохлоритом натрия при подготовке водопроводной воды проведены также на водозаборах поселков Яшкино, Зеленогорский, Промышленная, Ягуновская (Кемеровской обл.). На основании результатов исследований были выполнены рабочие проекты реконструкции существующих или строительства новых водоочистных станций производительностью до 5 тыс. м³/сут, которые в настоящее время находятся в эксплуатации [4, 10]. Хлораторная обеззараживания подземной воды в п. Ягуновская приведена на рис. 2, б.

Таким образом, достигнута экономическая, технологическая и социальная эффективность строительства новых и реконструкции существующих хлораторных водоочистных сооружений поверхностных и подземных вод с использованием технического гипохлорита натрия. Узлы обеззараживания воды гипохлоритом натрия обеспечивают простую, надежную и безопасную работу водоочистных станций.

Выводы. 1. Наиболее рациональным как в экологическом, так и технологическом аспектах методом хлорирования природных вод является использование гипохлорита натрия.

2. Применение технического гипохлорита натрия снимает проблему дефицитности поставки, безопасности транспортировки, хранения и применения хлорреагента, связанную с обеззараживанием воды жидким хлором без увеличения эксплуатационных затрат.

3. По бактерицидному действию гипохлорит натрия равнозначен жидкому хлору, а суммарное содержание галогенорганических соединений в воде, обрабатываемой гипохлоритом натрия, в среднем на 25 % ниже, чем в воде, обрабатываемой жидким хлором.

4. Применение гипохлорита натрия снижает дозу хлора при предварительном хлорировании и вторичном хлорировании до 30 % по сравнению с использованием жидкого хлора.

5. По консервирующей способности гипохлорит значительно превосходит жидкий хлор, что имеет большое значение для хранения питьевой воды и ее транспортировки в удаленные точки разводящих водопроводных сетей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сиволов Г.Е., Кармалов А.И., Медриш Г.Л., Писков М.В., Панчук С.А., Зорин А.П. Опыт эксплуатации и совершенствование системы обеззараживания воды с использованием гипохлорита натрия // Водоснабжение и сан. техника. 2011. № 9-1. С. 28–32.
2. Кинебас А.К., Яковлев В.Ю., Недедова Е.Д., Лобанов Ф.И. Обеззараживание воды низкоконцентрированным гипохлоритом натрия на водопроводных станциях Санкт-Петербурга // Водоснабжение и сан. техника. 2010. № 3. С. 24–29.
3. Беляк А.А., Касаткина А.Н., Гонтовой А.В., Смирнов А.Д., Привен Е.М., Благова О.Е. К вопросу об использовании растворов гипохлорита натрия в водоподготовке // Питьевая вода. 2007. № 2. С. 25–34.
4. Григорьев А.Б., Расс Р. Системы OSEC® для производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия // Водоснабжение и сан. техника. 2007. № 10. С. 30–33.
5. Селезнев Г.М., Лыков С.М., Буракова Ю.В. и др. Новые технологии и оборудование для дезинфекции воды – альтернатива хлору // Безопасность труда в промышленности. 2007. № 2. С. 64–66.
6. Головачев А.В., Абросимова Е.М. Применение гипохлорита натрия при обеззараживании воды // Водоснабжение и сан. техника. 2009. № 4. С. 8–12.
7. Войтов Е.Л., Сколубович Ю.Л. Подготовка питьевой воды из поверхностных источников с повышенным природным и антропогенным загрязнением. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2010. 216 с.
8. Сколубович Ю.Л. Подготовка питьевой воды из подземных источников. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2008. 188 с.

9. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. М.: Наука, 2005. 576 с.
10. Войтов Е.Л., Сколубович Ю.Л. Подготовка питьевой воды из подземных источников в экологически неблагоприятных регионах. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2010. 220 с.

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, доц.;

E-mail: voitovel@ya.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Волков Дмитрий Дмитриевич, зам. ген. директора

ОАО Северо-Кузбасская энергетическая компания, г. Кемерово

Гогина Елена Сергеевна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: kanz@mgsu.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Получено 15.06.18

Skolubovich Yuriy Leonidovich, DSc, Professor;

E-mail: skolubovich@sibstrin.ru

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

Voytov Evgeny Leonidovich, DSc, Ass. Professor; E-mail: voitovel@ya.ru

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

Volkov Dmitriy Dmitrievich, Deputy general director

Severo-Kuzbass Power Company, Kemerovo, Russia

Gogina Elena Sergeevna, PhD, Ass. Professor; E-mail: kanz@mgsu.ru

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia

APPLICATION OF SODIUM HYPOCHLORITE FOR DISINFECTION OF NATURAL WATER WITH HIGH CONTAINING OF ORGANIC COMPOUNDS

Special comparative studies on the use of sodium hypochlorite and liquid chlorine for the disinfection of surface and underground natural waters with a high content of organic substances were carried out at semi-production facilities and industrial wastewater treatment plants. They showed that sodium hypochlorite makes it possible to ensure the safety of production, bactericidal action is equivalent to liquid chlorine, but reduces the chlorine dose by preliminary chlorination and secondary chlorination to 30 %, and the total content of halogen-organic compounds in water treated with sodium hypochlorite is on average 25 % lower than in water treated with liquid chlorine.

К e y w o r d s: sodium hypochlorite, disinfection, organic compounds, free chlorine, chemical hypochlorite, electrochemical hypochlorite.

REFERENCES

1. Sivolov G.E., Karmalov A.I., Medrish G.L., Piskov M.V., Panchuk S.A., Zorin A.P. Opyt ekspluatatsii i sovershenstvovanie sistemy obezzarazhivaniya vody s ispol'zovaniem gipokhlorita natriya [Experience of operation and improvement of the system disinfection of water using sodium hypochlorite]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2011. No. 9-1. Pp. 28–32. (in Russian)

2. Kinebas A.K., Yakovlev V.Yu., Nefedova E.D., Lobanov F.I. Obezrazhivanie vody nizkokontsentrirovannym gipokhloritom natriya na vodoprovodnykh stantsiyakh Sankt-Peterburga [Disinfection of water with low-concentration sodium hypochlorite at the waterworks of St. Petersburg]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2010. No. 3. Pp. 24–29. (in Russian)
3. Belyak A.A., Kasatkina A.N., Gontovoy A.V., Smirnov A.D., Priven E.M., Blagova O.E. K voprosu ob ispol'zovanii rastvorov gipokhlorita natriya v vodopodgotovke [On the use of solutions of sodium hypochlorite in water treatment]. Pit'evaya voda [Drinking water]. 2007. No. 2. Pp. 25–34. (in Russian)
4. Grigor'ev A.B., Rass R. Sistemy OSEC® dlya proizvodstva nizkokontsentrirovannogo gipokhlorita natriya [OSEC® systems for the production of low-concentration sodium hypochlorite]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2007. No. 10. Pp. 30–33. (in Russian)
5. Sleznev G.M., Lykov S.M., Burakova Yu.V. et al. Novye tekhnologii i oborudovanie dlya dezinfektsii vody – al'ternativa khloru [New technologies and equipment for water disinfection – an alternative to chlorine]. Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Safety labor in the industry]. 2007. No. 2. Pp. 64–66. (in Russian)
6. Golovachev A.V., Abrosimova E.M. Primenenie gipokhlorita natriya pri obezzarazhivanii vody [The use of sodium hypochlorite in the disinfection of water]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2009. No. 4. Pp. 8–12. (in Russian)
7. Voytov E.L., Skolubovich Yu.L. Podgotovka pit'evoy vody iz poverkhnostnykh istochnikov s povyshennym prirodnym i antropogennym zagryazneniem [Preparation of drinking water from surface sources with increased natural and anthropogenic pollution]. Novosibirsk, NSUACE, 2010. 216 p. (in Russian)
8. Skolubovich Yu.L. Podgotovka pit'evoy vody iz podzemnykh istochnikov [Preparation of drinking water from underground sources]. Novosibirsk, NSUACE, 2008. 188 p. (in Russian)
9. Draginskiy V.L., Aleksieva L.P., Getmantsev S.V. Koagulyatsiya v tekhnologii ochistki prirodnykh vod [Coagulation in the technology of natural water purification]. Moscow, Nauka, 2005. 576 p. (in Russian)
10. Voytov E.L., Skolubovich Yu.L. Podgotovka pit'evoy vody iz podzemnykh istochnikov v ekologicheski neblagopriyatnykh regionakh [Preparation of drinking water from underground sources in ecologically unfavorable regions]. Novosibirsk, NSUACE, 2010. 220 p. (in Russian)

БИОРЕАКТОР-ОСВЕТЛИТЕЛЬ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

В результате теоретических и экспериментальных исследований в Новосибирском государственном архитектурно-строительном университете (Сибстрин) разработан и испытан биореактор-осветлитель (БО) новой конструкции, обладающий рядом преимуществ по сравнению с существующими фильтрами доочистки городских сточных вод. Технология очищения в БО предусматривает вначале насыщение очищаемой воды кислородом для создания условий протекания биохимического процесса окисления, т.е. очищения от растворенных в воде органических веществ. Очищаемая вода поступает на неподвижный слой контактной загрузки, в качестве которой используется мелкозернистый фильтрующий материал, удовлетворяющий требованиям по механической прочности и химической стойкости. При загрязнении контактной фильтрующей загрузки предусмотрена ее промывка без отключения реактора, а вода от промывки отводится для повторного использования.

Преимущества предложения:

- производительность биореакторов-осветлителей для очистки природных и сточных вод в 1,5 раза выше производительности контактных осветлителей;
- биореакторы-осветлители повышают эффективность очистки не только по содержанию взвешенных, коллоидных, но и растворенных органических веществ;
- применение эжекционной промывки реактора снижает расходование промывной воды до 3 раз, что увеличивает общую полезную производительность завода очистки сточных вод.

Иновационные аспекты предложения:

Достижение высокого качества доочищенных городских сточных вод позволяет использовать их для технического водоснабжения промышленных предприятий или сбрасывать в маловодные водоемы.

На изобретение получен патент.

Внедряется в Кемеровской и Новосибирской области. Имеется проектно-конструкторская документация.

Разработчики:

Сколубович Юрий Леонидович, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. РААСН;
Войтов Евгений Леонидович, д-р техн. наук, доц.

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

E-mail: patent@sibstrin.ru

Internet: www.sibstrin.ru/innovation

Тел. +7(383) 266 39 70

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«СТРОИТЕЛЬСТВО»

Издаётся 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
- Гидroteхническое 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 2-е полугодие по каталогу «Роспечать» 2018 г.

Каталожная цена за 6 месяцев – 4500 р.
Цена отдельного номера – 750 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».

Внимание!

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 Pr., 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**

№ 7 (715) 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 30.07.18. Формат 70×108 $\frac{1}{16}$
Усл. печ. л. 10,15+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 3505

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