

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РФ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
СТРОИТЕЛЬСТВО

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

№ 5 (677)
Май 2015 г.

Главный редактор В.Г. Себешев, почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.

Редакционная коллегия:

А.А. Афанасьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.А. Воробьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.А. Игнатьев, д-р техн. наук, проф.
В.И. Костин, д-р техн. наук, проф. (зам. гл. редактора)
Г.Б. Лебедев, канд. техн. наук, доц. (зам. гл. редактора)
Л.С. Ляхович, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.И. Морозов, д-р техн. наук, проф.
Ю.П. Панибратов, акад. РААСН, д-р экон. наук, проф.
Ю.П. Правдивец, д-р техн. наук, проф.
В.Г. Себешев, почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.
Ю.А. Феофанов, д-р техн. наук, проф.
Е.М. Чернышов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

Адрес редакции:

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

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 29.05.15. Формат 70×108 1/16
Усл. печ. л. 10,33+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 7777

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

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Миренков В.Е., Шутов В.А., Полуэктов В.А. К вопросу учета собственного веса упругих конструкций 5

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Карасёв Н.П., Себелев И.М. Статистические методы контроля качества цемента в ГОСТ 30515–2013 12

Копаница Н.О., Сафонов В.Н., Ковалева М.А., Саркисов Ю.С. Активация сырьевых компонентов и формовочных смесей в производстве теплоизоляционных материалов 22

Мирюк О.А. Магнезиальные композиты различной структуры 30

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

Денисихина Д.М. Исследование различных схем воздухораспределения ледовых арен 38

Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю., Сосна В.М. Механическая регенерация иммобилизованного ила в биореакторе с двурядной продольной аэрацией 49

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

Киселёв В.П., Шевченко В.А., Василовская Г.В., Иванова Л.А., Ворончи-

ХИН В.Д. Модификация свойств нефтяного дорожного битума	56
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Семикин П.П., Бацунова Т.П., Семикин П.В. Модульность в архитектуре высотных зданий	64
Бальзанникова Е.М., Самогоров В.А. Архитектурные особенности промышленных объектов Самарской губернии конца XIX — начала XX в.	70
Кетова Е.В., Нижегородцева Ю.Е. Основные особенности возникновения и развития инженерных систем водозабора на территории Сибирского региона с конца XVII до начала XX в.	79
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Зиганшин А.М., Посохин В.Н., Бадыкова Л.Н., Гимадиева Г.А. Численное моделирование течения в двухмерном тройнике	89
Семикопенко И.А., Воронов В.П., Жуков А.А. Теоретическое исследование процесса смешивания компонентов в помольно-смесительном агрегате на базе мельницы дезинтеграторного типа	96
Хархардин А.Н. Топологические свойства дискретных систем	103
В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ	
Пичкурова Н.С., Карелин В.Д. Экспериментальные исследования железобетонных изгибаемых элементов с замоделированными трещинами	114

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE

OF RUSSIAN FEDERATION

INTERNATIONAL ASSOCIATION

OF CONSTRUCTION

HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

NEWS OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

CONSTRUCTION

Scientific-theoretical journal

Published since March 1958

Monthly

N 5 (677)

May 2015

Editor-in-Chief V.G. Sebeshev, PhD, Prof.,
Honour. Mem. RAACS

Editorial Board:

A.A. Afanasyev, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS

V.A. Vorobyov, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS

V.A. Ignatyev, DSc (Eng), Prof.

V.I. Kostin, DSc (Eng), Prof. (Deputy Editor-in-Chief)

G.B. Lebedev, PhD, Ass. Prof. (Deputy Editor-in-Chief)

L.S. Lyakhovich, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS

V.I. Morozov, DSc (Eng), Prof.

Yu.P. Panibratov, DSc (Econ), Prof., Acad. RAACS

Yu.P. Pravdivetz, DSc (Eng), Prof.

V.G. Sebeshev, PhD, Prof., Honour. Mem. RAACS

Yu.A. Feofanov, DSc (Eng), Prof.

Ye.M. Chernyshov, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS

Responsible secretary N.V. Bitkina

The editorial office's address:

113 Leningradskaya St. Novosibirsk 630008

 Phone number/fax +7 (383) 266 28 59
www.sibstrin.ru E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

CONTENTS

THE THEORY OF ENGINEERING STRUCTURES

Mirenkov V.E., Shutov V.A., Poluektov V.A. On the consideration of the own weight of elastic structures 5

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Karasev N.P., Sebelev I.M. Statistical methods for quality control of cement in state standard 30515-2013 12

Kopanitsa N.O., Safronov V.N., Kovalyova M.A., Sarkisov Yu.S. Activation of rough components and molding mixtures in production of insulation materials 22

Miryuk O.A. Magnesian composites of various structure 30

SANITARY ENGINEERING

Denisikhina D.M. Research of different air distribution schemes in ice rink arena 38

Kulkov V.N., Solopanov E.Yu., Sosna V.M. Mechanical regeneration of immobilized sludge in the bioreactor with double-row longitudinal aeration 49

CONSTRUCTION OF MOTOR ROADS AND BRIDGES

Kiselev V.P., Shevchenko V.A., Vasillovskaya G.V., Ivanova L.A., Voronchik-

hin V.D. The properties modification of petroleum road asphalt	56
SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE AND ECOLOGY	
Semikin P.P., Batsunova T.P., Semikin P.V. Perspective of development architecture of the modular tall buildings	64
Balzannikova E.M., Samogorov V.A. Architectural peculiarities of industrial buildings of Samara oblast at the turn of the XX century	70
Ketova E.V., Nizhegorodtseva Yu.E. Key features and development of engineering systems water intake in the Siberian region with the end of the XVII to the early XX century	79
SCIENTIFIC AND METHODICAL SECTION	
Ziganshin A.M., Posokhin V.N., Badykova L.N., Gimadieva G.A. Numerical simulation of two-dimensional tee flow	89
Semikopenko I.A., Voronov V.P., Zhukov A.A. Theoretical research of process of components mixing in grinding-mixing aggregate on the basis of disintegrator type mill	96
Kharkhardin A.N. Topological characteristics of discrete systems	103
IN HIGHER SCHOOL LABS	
Pichkurova N.S., Karelina V.D. Experimental studies of the reinforced concrete bending elements with regulators stress-strain state	114

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 539.3

В.Е. МИРЕНКОВ, В.А. ШУТОВ, В.А. ПОЛУЭКТОВ

К ВОПРОСУ УЧЕТА СОБСТВЕННОГО ВЕСА УПРУГИХ КОНСТРУКЦИЙ

В рамках плоской деформации рассмотрена полуплоскость, нагруженная собственным весом, обеспечивающим линейность исходных напряжений. Предполагая возможность ослабления полуплоскости произвольным отверстием и необходимость численного счета напряжений и смещений в его окрестности, будем говорить о прямоугольной области Ω , существенно превышающей размер отверстия. На границе Ω сформулированы граничные условия, гарантирующие линейность исходных напряжений. Обсуждается новый класс некорректных задач, базирующийся на применении принципа независимости действия сил, но не учитывающий при этом различия в граничных условиях. Приводятся численные решения, подтверждающие возможность получения общего решения с наименьшими искажениями.

Ключевые слова: пластина, ослабление, интегральные уравнения, решение, упругость, задача, вес, граничные условия.

В задачах теории упругости собственный вес среды учитывается через предположения о линейном возрастании напряженного состояния [1, 2]. Для конкретизации рассматривается область Ω в виде прямоугольной пластины, условно вырезанной из полуплоскости, нагруженной собственным весом, в которой обеспечиваются условия плоской деформации (плоского напряженного состояния). Верхняя граница пластины принадлежит границе полупространства, а боковые — перпендикуляры к ней. Полагаем, что вертикальные напряжения σ_y и горизонтальные σ_x в произвольной точке пропорциональны расстоянию ее от границы полупространства, причем $\sigma_x = \lambda\sigma_y$ ($\lambda = \text{const}$) (рис. 1). Другими словами, в области Ω напряжения, создаваемые собственным весом материала, запишем в виде (без учета существования полости) [1, 2]

$$\sigma_y = -\gamma(H - y), \quad \sigma_x = -\lambda\gamma(H - y), \quad (1)$$

где γ — удельный вес. Если же область Ω ослаблена отверстием с контуром $\Gamma_2 = \Gamma_{21} + \Gamma_{22} + \Gamma_{23} + \Gamma_{24}$, то граничные условия необходимо формулировать на Γ_1 и Γ_2 .

Численный эксперимент при рассмотрении сложных задач приобрел в настоящее время практически равные права с традиционно физическим. Кажущаяся его простота, однако, таит в себе значительные трудности, связанные с построением соответствующей математической модели, численного алгоритма решения задачи, необходимостью обос-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-05-00133).

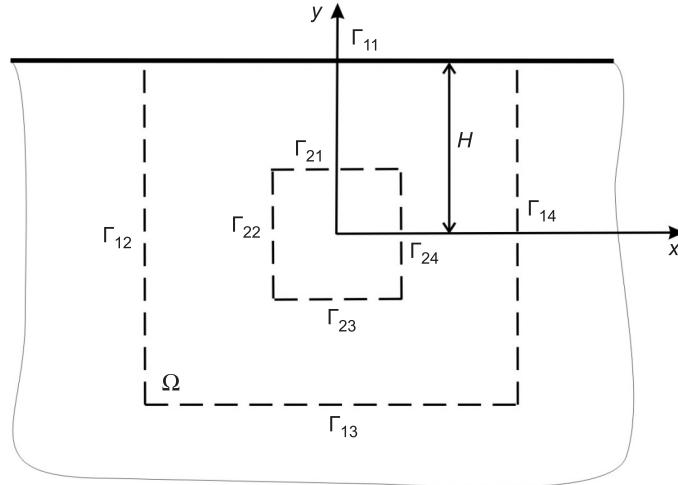


Рис. 1. Схема области численного счета Ω с границей Γ_1 и полости с контуром Γ_2 (если она предполагается)

нования полученных результатов. Повышение достоверности вычислительных методов, уменьшение неопределенностей, вызванных физическими и / или геометрическими упрощениями, обусловливают необходимость применения строгих методов определения точности численного моделирования выбранной концептуальной модели и определение степени достоверности описания исследуемого явления с помощью адекватной формулировки граничных условий, которые, в конечном счете, отвечают за результат.

Большинство исследований по расчету напряженно-деформированного состояния выполняются методом конечных элементов. Однако на точность расчета деформирования в окрестности ослабления влияют параметры численных схем и выделение граничных условий, не имеющих отношения к образованию полостей и исходному напряженному состоянию, до их проведения. Поэтому для изучения влияния тех или иных параметров задачи необходимо строить аналитическое или экспериментально-аналитическое решение модельных задач, которые могут быть использованы и для проверки точности численного решения.

Переходя к задаче о дополнительных напряжениях, возникающих на Γ_2 и исчезающих на бесконечности (с которой отождествляется контур Γ_1), рассматривается плоскость с отверстием, по периметру которого Γ_2 действуют нормальные и касательные напряжения. Эти напряжения, сложенные с полем постоянных

$$\sigma_y = -\gamma H, \quad \sigma_x = -\lambda \gamma H, \quad (2)$$

обеспечивают нулевые нормальные и касательные напряжения на контуре отверстия и значения (2) на бесконечности в предположении, что H многое больше характерного размера Γ_2 .

При численной реализации таких задач рассматривается достаточно большая часть плоскости, содержащая полость. Граничные условия формулируются и на контуре полости Γ_2 , и на периметре выделенной части Γ_1 , который считается эквивалентом бесконечно удаленной точки (см. рис. 1). Проблема существенно усложняется, когда рассматривается

случай полости, граница которой Γ_{21} совпадает с Γ_{11} . В этом случае граничные условия на Γ_{14} , Γ_{12} , Γ_{11} имеют вид:

$$\sigma_x = -\lambda\gamma(H - y), \quad \tau = 0 \quad \text{на } \Gamma_{14} \text{ и } \Gamma_{12}; \quad (3)$$

$$\sigma_y = 0, \quad \tau = 0 \quad \text{на } \Gamma_{11}; \quad (4)$$

напряжение же на Γ_{13}

$$\sigma_y = \gamma H_0, \quad \tau = 0, \quad (5)$$

где H_0 — расстояние от Γ_{11} до Γ_{13} , и смоделировать такую ситуацию не удалось.

Если на контуре отверстия нормальные и касательные напряжения равны нулю, то определение граничных условий на Γ_{13} представляет нерешенную проблему. Переход к дополнительной задаче не помогает в формулировке граничных условий на Γ_{13} , где возможны варианты:

$$\sigma_y = 0, \quad \tau = 0, \quad (6)$$

если пренебречь изменением напряжений по высоте полости;

$$v = 0, \quad \tau = 0, \quad (7)$$

$$v = 0, \quad u = 0, \quad (8)$$

если учесть перепад давления по высоте полости, т.е. необходимо выбрать «лучший» вариант.

Рассмотрим задачу для плоскости с прямоугольным отверстием, по периметру которого определим граничные условия в виде

$$\sigma_y = \sigma_0 = \text{const}, \quad \tau = 0 \text{ на } \Gamma_{21}(\Gamma_{23}); \quad \sigma_x = 5 - y, \quad \tau = 0 \text{ на } \Gamma_{22}(\Gamma_{24}), \quad (9)$$

затухающие на бесконечности. При численном счете необходим переход к конечной области, т.е. к Ω (см. рис. 1), на границе которой нужно задать конкретные условия. Если же использовать математическое решение для условий (9) к конкретной задаче для Ω , когда необходимо выполнение (1), то следует накладывать ограничения на возможность использования (9), как граничных условий. Действительно, боковой отпор можно смоделировать точно так, как имеем (1), т.е. линейность и возможности, даваемые симметрией.

Для вертикальной составляющей веса такой ясности нет и нужно использовать некоторые искусственные приемы и предположения, которые могут оказаться несовместимыми с точными для горизонтальной. Исследование формулировок таких задач требует выполнения условий линейности поля напряжений (1) в плоскости без ослабления и нахождение граничных условий всюду на Γ_{13} , обеспечивающих (1), и после этого необходимо провести отверстие и посмотреть влияние, вносимое в проблему только ослаблением, чтобы исключить искажения, вызываемые произвольными граничными условиями в процессе численного счета на конечный результат.

В силу сложности задач формулировки граничных условий для различных расчетных схем разделим их условно на две. Сначала поле напряжений образуется усилиями на Γ_{12} (Γ_{14})

$$\sigma_x = \lambda\gamma(H - y), \quad \tau = 0. \quad (10)$$

При $\sigma_y \equiv 0$ всюду в Ω , а затем с учетом напряжений, создаваемых вертикальной составляющей веса,

$$\sigma_y = \gamma(H - y), \quad \tau = 0. \quad (11)$$

Для граничных условий (9) на Γ_{12} (Γ_{14}) и (4) на Γ_{11} рассмотрим возможные четыре варианта граничных значений на Γ_{13}

$$v=0, \quad \tau=0; \quad v=0, \quad u=0; \quad \sigma_y=0, \quad \tau=0; \quad \sigma_y=0, \quad u=0. \quad (12)$$

Граничные условия компонент напряжений и смещений для всех вариантов (4), (10) и (12) связаны на Γ_1 системой интегральных уравнений [3]

$$f(t_0) + 2\mu g(t_0) = \frac{1}{\pi i} \int_{\Gamma} \frac{f(t) + 2\mu g(t)}{t - t_0} dt, \quad (13)$$

$$\kappa \bar{f}(t_0) - 2\mu \bar{g}(t_0) = \frac{1}{\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\kappa \bar{f}(t) - 2\mu \bar{g}(t)}{t - t_0} dt - \frac{1}{\pi i} \int_{\Gamma} [f(t) + 2\mu g(t)] d \frac{t - t_0}{t - t_0},$$

где $\kappa = 3 - 4v$, $\mu = E[2(1+v)]^{-1}$;

v — коэффициент Пуассона;

E — модуль Юнга;

t_0 — аффикс точки границы Γ ;

i — мнимая единица;

$g = u + iv$.

$$f(t) = i \int_0^t (x_n + iy_n) ds = f_1 + if_2, \quad (14)$$

где x_n, y_n — компоненты напряжений в направлении осей x и y ;

черточка над функцией обозначает комплексно сопряженное значение.

Перебор условий (12) показал, что только условие $\sigma_y = 0, \tau = 0$ на Γ_1 обеспечивает в пластине без ослабления линейное поле напряжений. На рис. 2 приведены результаты расчета напряженного состояния пластины, в которой уже можно делать отверстие, сохраняя граничные условия (3), (4) и (6). Расчеты σ_x проводились по десяти вертикальным

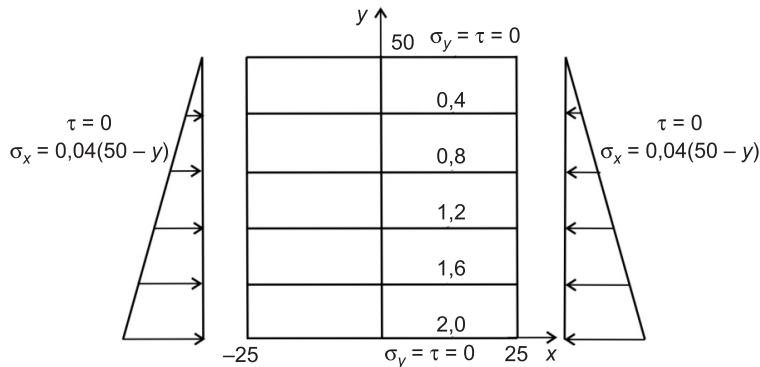


Рис. 2. Единственные граничные условия, обеспечивающие линейное распределение напряжений $\sigma_x(y)$ в пластине

равноотстоящим сечениям в безразмерном виде. Величины, имеющие размерность напряжений, отнесены к напряжениям в центре пластины, а размерность длины — к характерному размеру будущей плоскости. Чтобы не исказить линейность поля σ_x , проведем отверстие и сделаем расчет его влияния на перераспределение напряженно-деформированного состояния около полости, используя последние граничные условия.

При рассмотрении дополнительного напряженного состояния для случая, представленного на рис. 1, в предположении, что Γ_{21} расположена на Γ_{11} , и зависящего от $\sigma_y = -\gamma(H_1 - y)$ (здесь H_1 — расстояние от Γ_{21} до Γ_{23}), возможные граничные условия на Γ_{13} будут

$$v=0, \tau=0 \text{ или } v=0, u=0. \quad (15)$$

Возникает некорректная ситуация при попытке сложить два упругих решения, отвечающих (11) и (12), из-за различия граничных условий на Γ_{13} , т.е. численный счет и модель несовместимы (нарушается валидация). Имеет место единственная возможность: решить эти две задачи по отдельности, а затем алгебраически сложить результаты для расчетных точек. В такой ситуации главное правило: что можно, то решается точно, а остальное решается в известных стандартных рамках [1] и не искажает точное.

На рис. 3 приведены результаты расчета деформируемости контура прямоугольного отверстия, когда Γ_{21} лежит на Γ_{11} (рассматривается вырез). С учетом симметрии относительно оси y приводится расчет для половины контура Γ_2 (см. рис. 1) под действием горизонтальной составляющей напряжений $\sigma_x = 2y$, а граничные условия формулируются в виде

$$v=0, \tau=0 \text{ и } \sigma_y=0, \tau=0 \text{ на } \Gamma_{13}. \quad (16)$$

Как и следовало ожидать, решения существенно зависят от условий (16). Имеют место большие по модулю отрицательные значения смешений $v(x)$ на основании выработки для вторых граничных условий из (16) (кривая 2), которые уменьшают значения положительных, возникающих при учете вертикальной составляющей веса σ_y , т.е. суммарные значения $v(x)$ будут в итоге меньше. Класс некорректных задач пополнился еще одной возможностью, он увеличился за счет нарушения принципа независимости действия сил, который предполагает их сложение, но при неизменных граничных условиях. Главное — в невозможности для случая $v=0, \tau=0$ на Γ_{13} вернуться в исходное состояние до образования выреза, следовательно, ситуация, приведенная на рис. 2, не реализуется. Аналогичный предельный переход для кривой 2 (см. рис. 3) автоматически выполняется.

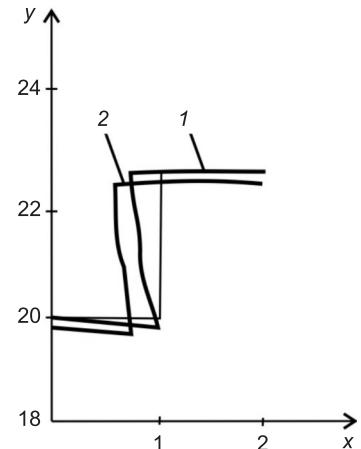


Рис. 3. Деформирование параметра выреза, если граничные условия на Γ_{13}

1 — $v=0, \tau=0$; 2 — $\sigma_y=0, \tau=0$

Таким образом, установлены граничные условия, обеспечивающие линейность исходного поля, создаваемого собственным весом для напряжений $\sigma_x(y)$ в Ω при условии $\sigma_y(y) \equiv 0$. И только при этих граничных условиях можно предполагать наличие отверстия. Учет линейности исходного поля напряжений (без ослабления) вертикальной составляющей веса $\sigma_y(y)$ можно проводить различными вариантами формулировки граничных условий. В результате исходную задачу по расчету напряженно-деформированного состояния около отверстия предлагается разбивать на две независимые, учитывающие $\sigma_x(y)$ и $\sigma_y(y)$ с последующим алгебраическим сложением результатов, что обеспечивает минимальную неточность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баренблatt, Г.И. Об обрушении кровли при горных выработках [Текст] / Г.И. Баренблatt, С.А. Христианович // Изв. АН СССР. Отд-ние техн. наук. — 1955. — № 11. — С. 73–86.
2. Савин, Г.Н. Распределение напряжений около отверстий [Текст] / Г.Н. Савин. — Киев : Наук. думка, 1968. — 931 с.
3. Миренков, В.Е. Математическое моделирование деформирования горных пород около ослаблений [Текст] / В.Е. Миренков, В.А. Шутов. — Новосибирск : Наука, 2009. — 176 с.

МИРЕНКОВ Валерий Егорович, д-р техн. наук, проф.

Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия

ШУТОВ Валерий Алексеевич, д-р техн. наук, проф.

Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия

ПОЛУЭКТОВ Вячеслав Александрович, канд. техн. наук, доц.

Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия

Получено 06.04.15

Mirenkov Valeriy Egorovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Russia

Shutov Valeriy Alekseevich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Russia

Poluektov Vyacheslav Aleksandrovich, candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Russia

ON THE CONSIDERATION OF THE OWN WEIGHT OF ELASTIC STRUCTURES

Within the plane strain assumption, a half-plane is considered which is loaded by its own weight, thus leading to linearity of the initial stress field. Assuming the possible weakening of the half-plane by an arbitrary opening and the need for a numerical computation of stresses and displacements in its vicinity, we consider a rectangular domain Ω which is essentially larger than the opening. On the boundary of Ω some boundary conditions are specified which ensure the linearity of initial stresses. A new class of ill-posed problems is discussed, basing on the principle of independent force action, but ignoring the differences in initial conditions. Numerical solutions are presented, which confirm the possibility of obtaining a general solution with least distortions.

Key words: plate, weakening, integral equation, solution, elasticity, problem, weight, boundary conditions.

REFERENCES

1. Barenblatt, G.I. On the collapse of roofings of excavations [Text] / G.I. Barenblatt, S.A. Khristianovich // Bull. of the Academy of Sciences of the USSR. Departament of Technical Sciences. — 1955. — N 11. — P. 73–86.
 2. Savin, G.N. Distribution of stresses near openings [Text] / G.N. Savin. — Kiev : Nauk. dumka, 1968. — 931 p.
 3. Mirenkov, V.E. Mathematical modeling of rocks deformation near weakening [Text] / V.E. Mirenkov, V.A. Shutov. — Novosibirsk : Nauka, 2009. — 176 p.
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.54.004.12

Н.П. КАРАСЁВ, И.М. СЕБЕЛЕВ

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТА В ГОСТ 30515–2013

Проанализирован метод приемки цемента в потоке с помощью контрольной карты скользящего среднего специального вида, предложенный ГОСТ 30515–2013. Установлено, что метод требует дополнительного теоретического обоснования, имеет недостатки, которые касаются эффективности контроля и затруднений в процессах обучения и практического применения. В предлагаемой стандартом карте не содержится информация о допусках, а также о рисках производителя и потребителя. Авторами дан вариант замены контрольной карты скользящего среднего на традиционную модифицированную карту среднего — приемочную.

Ключевые слова: цемент, статистические методы, контроль качества, контрольные карты, оперативная характеристика, приемочные контрольные границы.

Статистические методы, используемые при контроле процессов и продукции в различных отраслях, в том числе и строительной, универсальны и по многим аспектам согласованы между собой. Использование единой терминологии, одинаково понимаемое доказательство достоверности результатов контроля, одинаковое восприятие возможных ошибок при принятии решений позволяют не только бесконфликтно оценивать безопасность и качество продукции, но и упрощают процесс обучения приемам контроля и производителей, и потребителей, и контролеров, что, само по себе, уже положительно и повышает качество выпускаемых строительных материалов [1, 2]. Соответствие понятий, терминов и обозначений, общих для разных областей применения статистических методов, показано на рис. 1. Стандарты и нормативные документы на статистические методы контроля качества, по нашему мнению, можно разбить на четыре группы:

1. Общие стандарты, содержащие термины с определениями; приведенные в них термины необходимо использовать всем участникам статистического контроля при всех соответствующих ситуациях, во всех отраслях, в том числе в образовательных учреждениях.

2. Стандарты на методы контроля качества, безопасности и стабильности (статистической устойчивости) процессов производства продукции.

3. Стандарты на приемочный контроль.

4. Метрологические стандарты на точность (правильность и прецизию) и достоверность измерений.

В отдельных областях экономики в силу специфики или исторически сложившейся обособленности применяются особые, имеющие слабую

Системный подход, философия	Теория вероятностей, математическая статистика	Строительный контроль
Общее	Генеральная совокупность	Технологический процесс
		партия
Частное	Выборка	Партия
		выборка
Конкретное (единичное)	Значение СВ	Изделие
		значение ПК

Рис. 1. Соответствие понятий случайной величины (СВ) и показателей качества (ПК)

обоснованность стандарты. Это затрудняет производственную, инспекционную и преподавательскую деятельность. Особое отношение к статистическим методам контроля демонстрирует, например, строительная отрасль России. Рассмотрим подробнее ГОСТ 30515–2013, действующий с 01.01.2015 и содержащий статистические методы контроля качества цемента. Этот стандарт предлагает использовать для приемки цемента в потоке, т.е. для приемочного контроля, следующий вид контрольных карт (рис. 2).

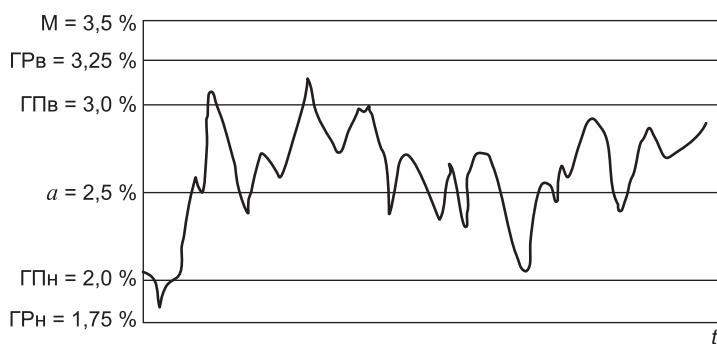


Рис. 2. Форма контрольной карты для приемки цемента в потоке [ГОСТ 30515–2013 Рисунок Г.5. Контрольная карта скользящих средних по содержанию $\text{SO}_3(\text{VI})$, в цементе ЦЕМ II/ А-III 32,5 Н]

Необходимо обратить внимание на то, что такого вида контрольных карт нет ни в одном стандарте на статистический контроль. Это справедливо и для национального уровня (ГОСТ Р), и для регионального (ГОСТ или ЕН), и для международного (ИСО). По общепринятой в мировой практике классификации контрольные карты делятся на три категории:

- контрольные карты Шухарта (Shewhart control chart);
- модифицированные контрольные карты Шухарта, например, приемочные контрольные карты (acceptance control chart);
- контрольные карты с памятью, например, EWMA или CUSUM chart.

Предлагаемая стандартом карта для приемки цемента в потоке обладает некоторыми свойствами всех указанных категорий. На рис. 3 приведены обозначения в соответствии с рекомендациями действующих стандартов. Поэтому центральная линия **а** (см. рис. 2) обозначена здесь как ЦЛ. В свою очередь, нижняя контрольная граница (регулирования) **ГРн** соответственно НКГ, верхняя контрольная граница (регулирования) **ГРв** — ВКГ, нижняя предупреждающая граница **ГПн** — НПГ, а верхняя **ГПв** — ВПГ, верхний предел допуска **М** — T_b .

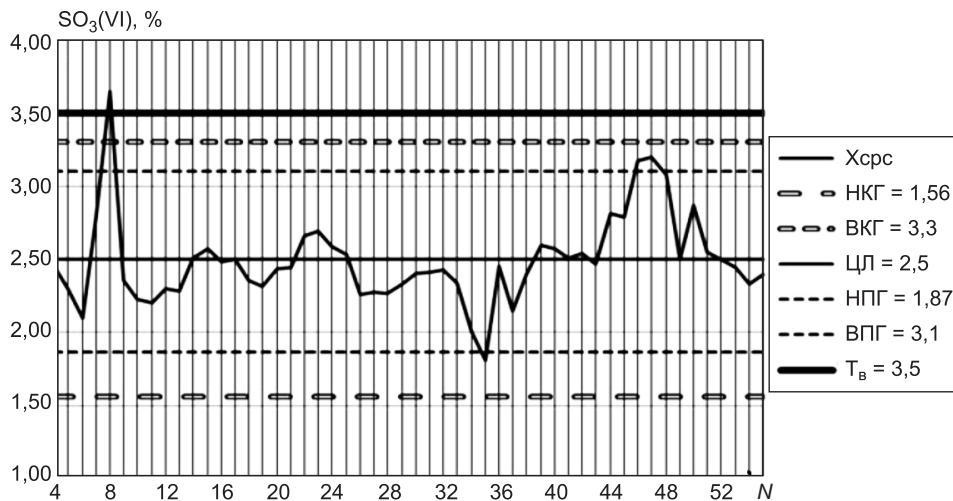


Рис. 3. Контрольная карта Хсpc — карта с памятью для скользящих средних с предупреждающими границами и верхней границей допуска (для ПК продукции (SO_3 %)) по ГОСТ 30515–2013

ПК — показатель качества процесса $X_{\text{сpc}} \sim \{ M(2,5), D(0,21) \}$; Хсpc — скользящее среднее (по четырем отсчетам); ЦЛ (CL) — центральная линия (2,5); НКГ (LCL) — нижняя контрольная граница $(2,5 - 3 \cdot 0,22) = 1,56$; ВКГ (UCL) — верхняя контрольная граница $(2,5 + 3 \cdot 0,22) = 3,3$; НПГ (LWL) — нижняя предупреждающая граница $(2,5 - 2 \cdot 0,22) = 1,87$; ВПГ (UWL) — верхняя предупреждающая граница $(2,5 + 2 \cdot 0,22) = 3,1$; T_b — верхний допусковый предел = 3,5; N — номер отсчета (4–52)

Карты, предлагаемые ГОСТ 30515, это карты среднего и похожи на карты Шухарта, так как содержат контрольные границы или границы регулирования, на расстоянии трех сигм от центральной линии как в ГОСТ Р 50779.42–99 (ИСО 8258–91). Но в них используется не арифметическое среднее (average control chart), как в картах Шухарта, а скользящее арифметическое среднее (moving average control chart), являющееся признаком карт с памятью, определение которых дано в ГОСТ Р ИСО 7870-1–2011. Наличие же предупреждающих границ на расстоянии двух сигм есть, скорее всего, признак карт среднего с предупреждающими границами. Подобные карты представлены в ГОСТ Р 50779.41–96 (ИСО 7873–93). Перечисленные выше карты применяются для мониторинга процессов и не содержат информацию о нормативных требованиях на допуски продукции, не используются для приемки продукции.

Приемка осуществляется либо по выборочным планам (приведенным в соответствующих стандартах, например, ГОСТ Р ИСО 2859-1–2007 или ГОСТ Р ИСО 395–2007), либо с помощью модифицированных контроль-

ных карт Шухарта, например, по приемочным контрольным картам, которые часто имеют только две контрольные приемочные границы. Центральная линия, как правило, не наносится на такую карту, так как зона приемлемых процессов достаточно широка. Иногда для справки наносят границы допуска одну или обе. Необходимо отметить отличие таких карт от традиционных карт Шухарта. Контрольные границы модифицированных карт учитывают информацию не только о процессе (разброс и положение), но и о допусках на продукцию, а также величину риска поставщика (α -ошибка) и риска потребителя (β -ошибка). Теоретической базой статистического приемочного контроля является теория проверки статистических гипотез, в которой определяются ошибки первого и второго рода.

Отметим еще раз, что приемочные контрольные границы принципиально отличаются от контрольных границ и предупреждающих границ карт Шухарта тем, что содержат информацию о допусках на продукцию и рисках производителя и потребителя. На предлагаемой ГОСТ 30515 карте приемочных границ нет. Поэтому информация о рисках производителя и потребителя на карте также отсутствует. Информация о допусках на продукцию содержится только в верхней границе допуска **M** (T_b), роль которой в принятии решения не определена.

Отличительным признаком контрольных карт качества Шухарта, в дальнейшем карт Шухарта, служит их способность оценивать «статистически устойчивое состояние процесса», сравнивая его с регулируемым (управляемым) состоянием, которое характеризуется минимальной изменчивостью, и считается подконтрольным. Именно об этом свойстве контрольных карт и говорил Каору Ишикава, когда определял условия наличия действующих систем качества на предприятиях, по наличию действующих карт Шухарта, которые представляют собой графики с нанесенными по оси ординат значениями ПК процесса (а не продукции!). На этой же оси указываются положения контрольных границ регулирования и предупреждения. По этим границам оценивается лояльность поведения процесса и принимается решение о контролируемом состоянии процесса или о необходимости его отладки. В последнем случае требуется вмешательство персонала по корректировке процесса, т.е. происходит собственно управление.

Второе ключевое качество таких карт — отсутствие, как правило, информации о нормативных требованиях на продукцию (не указываются допуски).

У каждого критерия (алгоритма принятия решения) есть две основные характеристики или два основных свойства. Эффективность критерия можно характеризовать функцией, определяющей зависимость между качеством партии и вероятностью ее приемки. Это — определение оперативной характеристики (ОХ). Она чаще используется в приемочном контроле [3].

Критерий можно охарактеризовать и вероятностью действий персонала по корректировке процесса. Эта зависимость (функция) вероятности осуществления альтернативной гипотезы и вероятности ее принятия называется мощностью критерия. Именно функция мощности критерия используется в контрольных картах [3]. В стандартах обычно имеются

графики оперативных характеристик, а также рекомендации по их построению и использованию. В рассматриваемом же стандарте такая информация отсутствует.

По ГОСТ Р ИСО 7870-1–2011: «контрольная карта скользящих средних (moving average control chart) — это контрольная карта, предназначенная для оценки состояния процесса по средним арифметическим последних n наблюдений». При этом отмечено, что недостатком карты является отсутствие весовых коэффициентов при вычислении среднего арифметического, учитывающих состав используемых n точек. Для устранения этого недостатка (может и несущественного) можно было бы вместо карты скользящих средних использовать контрольную карту экспоненциально взвешенных скользящих средних, EWMA-карту (exponentially weighted moving average control chart, EWMA control chart) [3]. В этих картах учитывается влияние удаления отсчетов от настоящего момента и подбирается коэффициент учета этого влияния λ в пределах от 0 до 1. Тогда дисперсия корректируется с учетом этого коэффициента [из электронного справочника по статистическим методам Национального института стандартов, США]:

$$s_{\text{ewma}}^2 = \frac{\lambda}{2 - \lambda} s^2.$$

Отметим, что для карт средних с предупреждающими границами существует специальный стандарт (ГОСТ Р 50779.41–96), в котором описаны правила принятия решения на основе средней длины выборки (ARL) для случая, если значение ПК попадает в область между границами регулирования и предупреждения.

Карты Шухарта, как и многие объекты, в том числе продукция, имеют свои этапы жизненного цикла. Начальный этап проектирования или построения (нахождение границ) и этап применения или управления процессом. На обоих этапах форма карт одинаковая. Модифицированные же контрольные карты, в нашем случае приемочные контрольные карты, как и карты Шухарта, имеют два этапа: построения и применения (приемки и управления) (рис. 4, 5). В отличие от традиционных карт Шухарта приемочные контрольные карты существенно отличаются на этих этапах по форме.

На этапе построения необходимо определить положение контрольных границ, которое зависит как от свойств технологического процесса (S_x), так и от норм, вернее от верхней границы допуска (T_b) и нижней границы допуска (T_h), а также от определенных в контракте рисков производителя (PR) и риска потребителя (CR). В одностороннем случае контрольные границы можно считать квантилями равными PRQ или в случае непрерывной приемки AQL. Эти границы, единственно необходимые на этапе управления и называемые «приемочные контрольные границы», на карте обозначаются как ACL_b или ACL_h .

В стандарте на приемочные контрольные карты ГОСТ Р 50779.43–99 (ИСО 7966–93) говорится о том, что: «При работе с приемочной контрольной картой оператору нужно знать только приемочные контрольные границы, объем выборки, частоту и способ отбора выборки. Инженер по качеству или квалифицированный оператор могут без особого труда по-

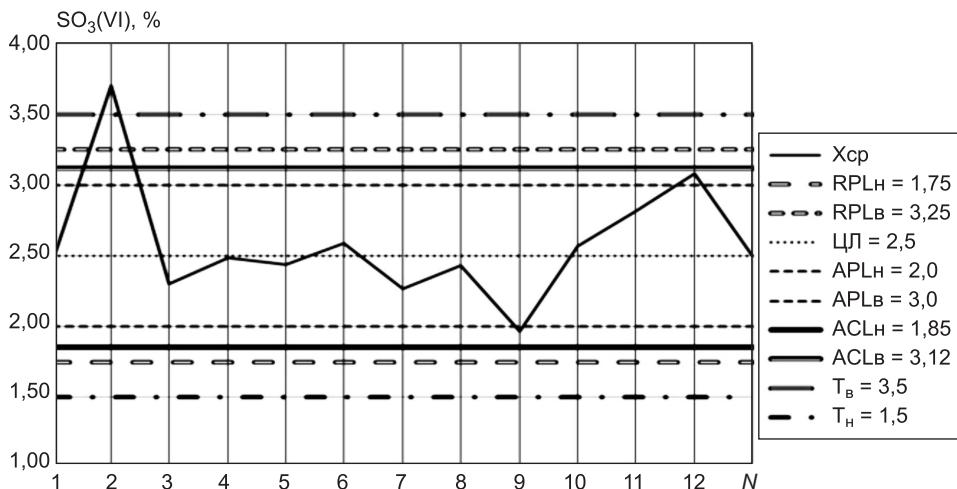


Рис. 4. Модифицированная (приемочная) контрольная карта качества на этапе построения

ПК — показатель качества (среднее выборки); RPL_h — нижний неприемлемый уровень процесса; RPL_b — верхний неприемлемый уровень процесса; ЦЛ (CL) — центр поля допуска (центральная линия); APL_h — нижний приемлемый уровень процесса; APL_b — верхний приемлемый уровень процесса; ACL_h — нижняя контрольная граница; ACL_b — верхняя контрольная граница; T_h — нижний предел допуска; T_b — верхний предел допуска

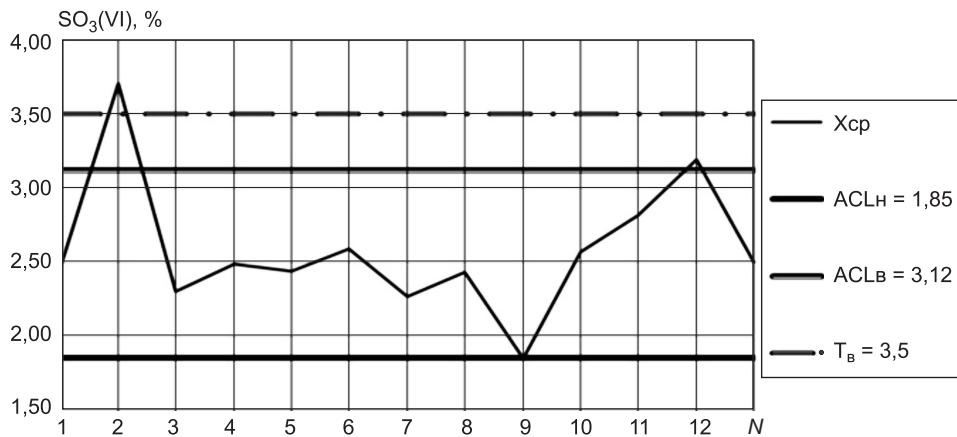


Рис. 5. Упрощенная модифицированная (приемочная) контрольная карта текущего среднего на этапе управления (без нанесения нижней границы допуска)

ПК = $X_{\text{ср}}$ — показатель качества (среднее выборки объемом $n = 4$); ACL_h — нижняя приемочная контрольная граница; ACL_b — верхняя приемочная контрольная граница; T_b — верхняя граница допуска

строить контрольные границы самостоятельно, что даст им возможность более глубоко понять процедуру приемки процессов и вопросы управления». На самом деле «без особого труда» определить приемочные контрольные границы может далеко не каждый инженер, а только инженер по качеству, прошедший соответствующую подготовку. То, что специальному не обученному инженеру достаточно трудно построить приемочные контрольные границы, проиллюстрируем материалами и рекомендациями из стандарта на приемочные контрольные карты.

Чтобы воспользоваться готовыми формулами (1–5) для построения и использования приемочных контрольных карт потребуется, как минимум, знание следующих терминов (приведены только их условные обозначения) и владение некоторыми понятиями:

$$T_{\text{в}}, T_{\text{н}}, \text{ACL}, \text{APL}, \text{RPL}, n, p_0, p_1, \text{Pa}, T, \bar{X}n, z, z_p, z_{\alpha'}, z_{\beta'}, z_{p_0}, z_{p_1}, \alpha, \beta, \mu, \sigma, s_w, \sigma_{X_{\text{ср}}}$$

(очень важно понимать соотношение: $\sigma_{X_{\text{ср}}} = \sigma / \sqrt{n}$).

$$\text{APL}_{\text{B}} = T_{\text{в}} - z_{1-p_0} \sigma; \quad (1)$$

$$\text{RPL}_{\text{B}} = T_{\text{в}} - z_{1-p_1} \sigma; \quad (2)$$

$$\text{ACL}_{\text{B}} = \text{APL}_{\text{B}} + \left(\frac{z_{1-\alpha}}{z_{1-\alpha} + z_{1-\beta}} \right) (\text{RPL}_{\text{B}} - \text{APL}_{\text{B}}); \quad (3)$$

$$\text{ACL}_{\text{K}} = \text{APL}_{\text{K}} + \left(\frac{z_{1-\alpha}}{z_{1-\alpha} + z_{1-\beta}} \right) (\text{APL}_{\text{K}} - \text{RPL}_{\text{K}}); \quad (4)$$

$$n = \left(\frac{z_{1-\alpha} + z_{1-\beta}}{z_{1-p_0} - z_{1-p_1}} \right)^2. \quad (5)$$

Тогда, в случае симметричных границ приемочная контрольная карта с приемочными контрольными границами и верхней границей допуска выглядит, как показано на рис. 5.

Предлагаемая форма контрольной карты нам представляется более предпочтительной по сравнению с картой стандарта. Во-первых, она соответствует «легитимным» модифицированным картам Шухарта (приемочным), по которым в условиях «устоявшейся добросовестной практики», т.е. в ЕС и ВТО, производится приемка продукции. Во-вторых, она гораздо проще в применении, у нее всего две границы, и поэтому правило простое: если отсчет внутри границ, то это норма, если вне границ, то это несоответствие норме. В-третьих, она более информативна: в решениях, произведенных по такой карте, учитываются и допуски на продукцию и величины риска поставщика и потребителя.

Приемочные контрольные границы определяются только на этапе построения. Эта работа производится однократно в отделах качества обученными специалистами. На этапе управления (собственно применения карты) к работе может быть привлечен рядовой персонал. Специалисты по качеству должны проверять основное свойство критерия приемки — оперативную характеристику, в том числе и ошибки первого и второго рода. Параметры ОХ необходимо постоянно контролировать и для приемочного контроля, и для мониторинга процессов. В непосредственной же ежедневной работе предлагаемая на этапе управления (контроля) более простая форма приемочной контрольной карты может экономить значительные ресурсы, как и всякая работа по успешной стандартизации массовых процессов.

У авторов имеется также ряд замечаний по картам размаха, приемочному контролю по переменным и по контролю по приемочным числам.

Несколько слов о неэквивалентности (статус NEQ) этого стандарта EN 197-1, EN 197-2. Она происходит и от того, что в этих стандартах нет приемки в потоке с помощью контрольной карты. Идентичные стандарты предпочтительнее на практике, не создают лишних проблем в договорных отношениях и более подходят для образовательных учреждений при подготовке компетентных специалистов.

В примечании к разделу 3 ГОСТ 30515 указывается: «Рекомендуется также использовать термины, приведенные в приложении А, в научно-технической, учебной и другой специальной литературе». Рекомендуемые термины заимствованы из следующих стандартов: ГОСТ 15467–79, ГОСТ 15895–77*, ГОСТ 16504–81.

Известный специалист по статистическим методам А.И. Орлов, показывая уровень методологической культуры этих стандартов, говорит: «В области статистических методов в СССР был разработан терминологический стандарт ГОСТ 15895–77 (СТ СЭВ 547–77, СТ СЭВ 3404–81) “Статистические термины управления качеством продукции. Термины и определения”. В 1985–86 гг. он был проанализирован (в числе прочих) Рабочей группой по упорядочению системы стандартов по прикладной статистике и другим статистическим методам (о ее деятельности рассказано в отдельной статье). Установлено, что этот стандарт содержит огромное число грубейших ошибок. (Материалы Рабочей группы по ГОСТ 15895–77 (СТ СЭВ 547–77, СТ СЭВ 3404–81) не публиковались, но некоторые критические замечания приведены в заметке в печати). Причина провала — низкая квалификация разработчиков как государственного стандарта СССР, так и соответствующих стандартов СЭВ, их отрыв от ведущих научных центров. Несколько смягчили ситуацию решения Госстандарта о переводе подобных стандартов на уровень рекомендательных (т.е. не обязательных) документов» [4].

Это подтверждает основной тезис нашей статьи о том, что в части статистических методов приемки цемента в потоке по ГОСТ 30515–2013 требуется дальнейшая работа. Выпуск методических рекомендаций по применению стандарта, которые также необходимы, вряд ли исправит ситуацию. К тому же следует учитывать, что в последнее время сами стандарты на статистические методы контроля и их содержание в значительной степени изменились [5]. Мировое сообщество в лице его самого авторитетного органа, Международной организации по стандартизации (ИСО), признало как международные российские национальные стандарты, основанные на принципе распределения приоритетов (PPP), на концепции NQL [5].

Одним словом, при разработке новых стандартов на строительный контроль необходимо учитывать современное состояние таких статистических методов, как, например, контрольные карты качества [6]. Учет этого обстоятельства только усиливает аргументы о необходимости разработки и внедрения базового курса по статистическим методам контроля в строительстве для всех специальностей всех уровней образования

и создания специализированных консалтинговых и обучающих центров по применению статистических методов в строительстве и строительном контроле [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орешкин, Д.В. Проблемы строительного материаловедения и пути развития производства строительных материалов [Текст] / Д.В. Орешкин // Вестн. МГСУ. — 2009. — Спецвып. 3. — С. 13–17.
2. Орешкин, Д.В. Проблемы строительного материаловедения и производства строительных материалов [Текст] / Д.В. Орешкин // Строит. материалы. — 2010. — № 11. — С. 6–8.
3. Миттаг, Х.-Й. Статистические методы обеспечения качества [Текст] / Х.-Й. Миттаг, Х. Ринне. — М. : Машиностроение, 1995. — 600 с.
4. Орлов, А.И. Термины и определения в области вероятностно-статистических методов [Текст] / А.И. Орлов // Завод. лаборатория. — 1999. — Т. 65, № 7. — С. 46–54.
5. Карасёв, Н.П. Изменение статистических стандартов контроля качества и проблемы их применения в строительстве [Текст] / Н.П. Карасёв // Качество и инновации — основа современных технологий: сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2014. — С. 15–20.
6. Адлер, Ю.П. Контрольные карты Шухарта в России и за рубежом: краткий обзор современного состояния (статистические аспекты) [Текст] / Ю.П. Адлер, О.В. Максимова, В.Л. Шпер. — URL: <http://ria-stk.ru/upload/image/stq/2011/N8/082011-1.pdf> (дата обращения 20.04.2015).
7. Себелев, И.М. Проблемы обеспечения качества бетона в строительной практике Новосибирска [Текст] / И.М. Себелев, Н.П. Карасёв, А.Ф. Бернацкий // Качество и инновации — основа современных технологий: сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2014. — С. 21–23.

КАРАСЁВ Николай Павлович, доц.; E-mail: karasevn@mail.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

СЕБЕЛЕВ Иван Михайлович, д-р техн. наук; E-mail: isebelev@yandex.ru

Системно-аналитический центр «Стройконсалтинг», г. Новосибирск

Получено 24.04.15

Karasev Nikolay Pavlovich, assistant professor; E-mail: karasevn@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Sebelev Ivan Mikhaylovich, doctor of technical sciences; E-mail: isebelev@yandex.ru, System-analytical center «Stroykonsalting», Novosibirsk, Russia

STATISTICAL METHODS FOR QUALITY CONTROL OF CEMENT IN STATE STANDARD 30515–2013

The method of acceptance of cement in a stream with a test card of a special kind of moving average proposed state standard 30515–2013 was analyzed. It was found that the proposed method requires additional theoretical justification, has some disadvantages, which relate to the effectiveness of control and difficulties in learning and practical application. The proposed standard card does not contain information about tolerances, as well as about the risks of producers and consumers. The authors offer the option of replacing the proposed standard checklist moving average on the traditional modified map middle — acceptance control cart.

Key words: cement, statistical methods, quality control, control charts, operating characteristics, acceptance control limits.

REFERENCES

1. Oreshkin, D.V. Problems of Building Materiology and ways of development of Production of Building Materials [Text] / D.V. Oreshkin // Vestnik MGSU. — 2009. — N 3. — P. 13–17.
2. Oreshkin, D.V. Problems of Building Materiology and Production of Building Materials [Text] / D.V. Oreshkin // Stroitel'nye Materialy. — 2010. — N 11. — P. 6–8.
3. Mittag, H.-J. Statistical methods for quality assurance [Text] / H.-J. Mittag, H. Rinne. — M. : Mashinostroenie, 1995. — 600 p.
4. Orlov, A.I. Terms and definitions in the field of probabilistic and statistical methods [Text] / A.I. Orlov // Factory laboratory. — 1999. — Vol. 65, N 7. — P. 46–54.
5. Karasev, N.P. Change statistical quality control standards and problems of their application in the construction [Text] / N.P. Karasev // Quality and innovation — the basis of modern technologies: Sat. tr. Proc. scientific-prac. Conf. — Novosibirsk : NGASU (Sibstrin), 2014. — P. 15–20.
6. Adler, Yu.P. Shewhart control charts in Russia and abroad: an overview of the current state (the statistical aspects) [Text] / Yu.P. Adler, O.V. Maksimova, V.L. Shper. — URL: <http://ria-stk.ru/upload/image/stq/2011/N8/082011-1.pdf> (date of access: 20.04.2015).
7. Sebelev, I.M. Problems of quality of concrete in construction practice Novosibirsk [Text] / I.M. Sebelev, N.P. Karasev, A.F. Bernatsky // Quality and innovation — the basis of modern technologies: Sat. tr. Proc. scientific-prac. Conf. — Novosibirsk : NGASU (Sibstrin), 2014. — P. 21–23.

УДК 691:699.86.002.3

**Н.О. КОПАНИЦА, В.Н. САФРОНОВ, М.А. КОВАЛЕВА,
Ю.С. САРКИСОВ**

АКТИВАЦИЯ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ И ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

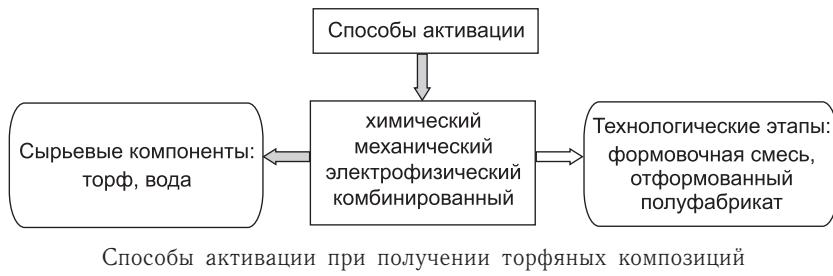
Рассмотрены вопросы, связанные с использованием электрофизических способов активации сырьевых компонентов и формовочных смесей на основе торфа для получения эффективных строительных материалов. Изучены режимы электромагнитной и электрохимической активации и приведены результаты оценки физико-механических свойств строительных материалов, показывающие значительный эффект, обусловленный повышением прочности, снижением плотности и водопоглощения.

Ключевые слова: теплоизоляция, активация, торф, структура твердения.

Создание и увеличение объемов производства строительных материалов для ограждающих конструкций, обладающих необходимыми показателями качества при существенном снижении стоимости — один из путей повышения их эффективности, а разработка новых строительных материалов из экологически чистого местного сырья с применением инновационных энергосберегающих технологий их приготовления обеспечивает конкурентоспособность. Для многих регионов России таким сырьем является торф. В ТГАСУ на протяжении многих лет проводятся исследования, связанные с разработкой технологий производства строительных материалов различного назначения, в которых торф выполняет роль вяжущего, заполнителя, модифицирующей добавки, что обусловлено особенностями его состава и структуры, а также возможностью их регулирования при определенных способах внешних воздействий. В состав торфа входят различные органические и органоминеральные комплексы, при модифицировании которых проявляются его вяжущие свойства и ускоряется процесс формирования структур твердения. Эту особенность торфяного сырья целесообразно использовать при изготовлении стеновых и теплоизоляционных строительных материалов [1].

Влияние на структуру и состав торфа (для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств строительных материалов на его основе) связано с использованием различных способов активации (рисунок). Особенности торфа, выражющиеся наличием в его составе гидрофильных и гидрофобных активных функциональных групп, его агрегатное состояние, способность компонентов торфа при определенных способах воздействия взаимодействовать друг с другом либо через молекулы воды, наличие ионов многовалентных металлов, а также проявление торфом электрофизических свойств позволяют направленно воздействовать на его структуру, состав и свойства с целью получения на его основе эффективных строительных материалов [2].

© Копаница Н.О., Сафонов В.Н., Ковалева М.А., Саркисов Ю.С., 2015



За последнее время улучшение качества композиционных строительных материалов все в большей степени связывается с развитием электрофизических технологий активации их компонентов. Среди широкого спектра подобных технологий практически важна магнитная технология обработки воды затворения в сочетании одновременного воздействия электрических и электромагнитных полей. Известно применение способа магнитной активации воды затворения в технологии производства бетонов, формовочных смесей в керамическом производстве, утилизации сульфатно-кальциевых отходов и др. Влияние магнитной обработки воды затворения органоминеральных смесей на основе торфа при получении строительных материалов весьма эффективно [3–5], но изучено недостаточно.

Эффективность обработки воды магнитным полем, начиная от первых аппаратов бельгийского производства EPUROСeri, определяется в значительной степени напряженностью магнитного поля в зазоре, скорость движения воды, углом между направлениями движения воды и магнитных силовых линий, а также числом пересечений и времени контакта воды с магнитным полем. При этом основной технологический процесс активации воды практически во всех широко известных приемах и аппаратах подобного назначения сводился только к обработке воды магнитным полем, а роль слабомагнитных веществ, входящих в состав объекта магнитной обработки, не учитывалась. По мнению авторов, при многократном переливании жидкости через зазор магнитного устройства значение магнитной восприимчивости компонентов воды существенно повышается. В табл. 1 приведены основные слабомагнитные вещества воды и их магнитная восприимчивость [6].

Общеизвестно [7], что парамагнитные вещества (вещества с положительной магнитной восприимчивостью) при наложении внешнего магнитного поля усиливают последнее, а диамагнитные вещества (с отрицательной магнитной восприимчивостью), внесенные в магнитное поле, напротив, уменьшают его. Из данных табл. 1 видно, что все составляющие вещества, за исключением железа, имеют отрицательную магнитную восприимчивость, что приводит к уменьшению эффективности магнитной обработки при ее реализации в прикладных целях. Снижение отрицатель-

Таблица 1. Магнитная восприимчивость составляющих объекта обработки (вода питьевая), отвечающая требованиям ГОСТ 2874–82, $\times 10^6$ ед. СГСМ

Fe^{2+}	Fe^{3+}	NO_3^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	N^+	K^+
+13,0	+10,0	- 20,0	- 34,0	Диамагнитен	- 40,0	- 26,0	- 8,0	- 3,0	- 5,0	13,0

ного действия диамагнитных веществ связано с добавлением в воду до ее магнитной обработки парамагнитных веществ.

Авторами разработана технология магнитной обработки воды затворения для композиционных материалов на основе торфовяжущего, при которой вода дополнительно подвергается воздействию воздушной среды. В результате подобного технологического приема в воде увеличивается содержание кислорода, являющегося парамагнитным веществом.

При выполнении исследований в качестве жидких сред затворения органоминеральной матрицы использовалась питьевая вода, обработанная магнитным полем с помощью сконструированного в ТГАСУ лабораторного устройства конического типа. Действие устройства основано на повторной обработке жидкости с индукцией магнитного поля 40 мТл и времени обработки в диапазоне 0–200 с. Для оценки влияния времени магнитной обработки в указанном диапазоне на свойства торфодревесных композиций готовились образцы-балочки 40×40×160 мм. Физико-механические свойства затвердевших образцов приведены в табл. 2 по ранее полученным результатам [8].

Таблица 2. Свойства торфодревесных образцов, изготовленных на магнитно-обработанной воде затворения низинного торфа

№ п/п	Время магнитной обработки воды, с	Прочность при сжатии, при 10 % линейной деформации, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Средняя плотность, кг / м ³	Водопоглощение (по массе), %
1	0	0,54	0,26	232	148
2	40	0,74	0,34	240	112
3	80	0,74	0,27	238	86
4	120	0,77	0,31	241	75
5	200	0,65	0,25	246	60

Как следует из табл. 2, использование воды после магнитной обработки для затворения торфодревесной смеси приводит к изменению основных физико-механических характеристик полученных композитов. Прочностные характеристики образцов с использованием воды затворения, активированной повторной магнитной обработкой в течение 120 с, увеличиваются в 1,4 раза при практически постоянной средней плотности образцов. Значительное снижение водопоглощения (более чем в 2 раза по сравнению с контрольным) при использовании воды, прошедшей магнитную обработку (200 с), позволяет прогнозировать более высокие эксплуатационные свойства торфодревесных теплоизоляционных материалов. Данные закономерности связаны с особенностями физико-химических межфазных взаимодействий и процессов структурообразования в исследуемом объекте.

Можно предположить, что применение в технологии производства торфодревесных композитов обработанной магнитным полем воды затворения обеспечивает повышение концентрации парамагнитных центров в торфяной смеси, что ускоряет химическое взаимодействие частиц

торфа со средой затворения (водой) и влияет на процессы структурообразования композиционного материала на основе торфа. В традиционных технологических приемах при увлажнении торфа происходит формирование мицелл и образование двойного электрического слоя. На поверхности минеральных частиц торфа с отрицательным знаком активно адсорбируются катионы Na^+ , так как энергия адсорбции их меньше, чем ионов Ca^{2+} . Результаты экспериментальных исследований строительно-технических свойств образцов на основе низинного торфа с использованием магнитоактивированной воды затворения для приготовления торфодревесных формовочных смесей составили основу способа получения теплоизоляционных изделий с новыми свойствами [8].

Далее было изучено влияние электрохимической и комбинированной активации воды затворения (электрохимическая активация с последующей обработкой магнитным полем) на свойства торфодревесных композиционных материалов как на основе торфов низинного, так и верхового типов, отличающихся содержанием и составом минеральной части.

Электрохимическая активация воды затворения осуществлялась в лабораторном двухкамерном электролизере проточного типа переменного тока на положительном аноде с потребляемой мощностью 2,5 кВт [9]. В качестве жидких сред затворения использовалась вода с $\text{pH} = 5$ (кислая) и с $\text{pH} = 9$ (щелочная), полученная в результате электролиза водопроводной воды. Магнитная активация жидких сред проводилась в течение 120 с по описанной ранее методике.

Торфяная вода представляет собой сложную многокомпонентную динамическую неравновесную систему, способную к самоорганизации вследствие содержания в торфе поливалентных катионов, способных к ЭПР-переходам с одной стороны и к катализу перекиси водорода. Этот механизм является источником генерирования различных активных форм кислорода (АФК), представляющих собой малоустойчивые, короткоживущие соединения, обладающие высокой химической активностью. В реакциях с участием АФК высвобождаются кванты энергии, которые эквивалентны квантам ближнего инфракрасного и даже УФ-света.

При затворении активированной водой торфодревесных смесей все перечисленные процессы многократно усиливаются, и вода приобретает повышенную способность связываться макромолекулами торфа, увеличивается ее растворяющая способность, а следовательно, и влияние воды затворения на физико-химические и физико-механические характеристики торфа и изделий на его основе. В экспериментах для приготовления формовочных смесей на основе низинного и верхового торфов использовалась вода, обработанная по ранее указанным режимам. Состав и физико-химические показатели активированной воды в зависимости от способа обработки даны в табл. 3.

Приведенные в табл. 3 результаты хорошо согласуются с литературными данными [10]. Наряду с очевидным изменением значений pH и Eh , максимальное влияние на свойства модифицированной воды связано с изменением содержания растворенных газов CO_2 и O_2 , имеющих отрицательную и положительную магнитную восприимчивость соответственно.

Таблица 3. Физико-химические показатели воды затворения

Показатели		Питьевая	Кислая	Щелочная	Кислая + магнитная активация	Щелочная + магнитная активация
Анионы, мг/л	NO ₂ ⁻	—	1,5	0,3	1,2	0,1
	CO ₃ ²⁻	—	—	300,0	—	280,0
	HCO ₃ ⁻	5,2	5,4	170,0	2,5	150,0
	SO ₄ ²⁻	0,2	—	—	0,2	—
	Cl ⁻	0,4	—	150,0	0,5	120,0
Катионы, мг/л	Ca ²⁺	3,8	44,0	0,22	38,0	0,18
	Mg ²⁺	1,0	11,3	0,11	9,4	0,09
	Na ⁺	1,0	—	389,0	—	312,0
рН среды		6,9	5,0	9,0	4,2	10,5
Окислительно-восстановительный потенциал, Eh, мВ		+210	+415	-810	-480	+ 900
Содержание газов, мг/л	CO ₂	2,64	5,28	—	5,1	0,32
	O ₂	9,24	12,45	6,83	5,4	6,0

Из представленных в табл. 4 результатов следует, что прочностные характеристики образцов на основе низинного торфа при использовании воды с pH = 5 увеличиваются на 35 %, а с pH = 9 на 40 % по сравнению с контрольными образцами, приготовленными с применением питьевой воды. Более существенное изменение прочностных характеристик торфодревесных образцов отмечено после комбинированной активации воды (щелочная + магнитная активация): прочность на сжатие увеличивается в 2,3 раза, а при изгибе — в 2,6 раза, при этом значение средней плотности изменяется несущественно. Для образцов на основе верхового торфа наблюдаются те же закономерности, но с увеличением прочностных характеристик до 38 % (вода с pH = 5) и на 25 % (вода с pH = 9) по срав-

Таблица 4. Свойства торфовяжущего с использованием активированной воды затворения

Показатель	Тип воды затворения					
	питьевая	омагнитенная	кислая	щелочная	кислая + магнитная активация	щелочная + магнитная активация
Прочность при сжатии, МПа	0,54 0,58	0,77 0,79	0,73 0,80	0,76 0,73	1,13 1,25	1,23 1,02
Прочность при изгибе, МПа	0,26 0,30	0,31 0,34	0,31 0,45	0,42 0,33	0,39 0,65	0,68 0,36
Средняя плотность, кг/m ³	232,0 230,0	241 236	238,3 231,2	229,5 230,5	342,0 340,0	343,6 340,2
Водопоглощение (по массе), %	148,0 140,0	75,0 70,0	142,0 130,0	136,0 132,0	90,5 72,0	71,5 82,3

Примечание. В числителе — данные по низинному торфу, в знаменателе — по верховому.

нению с образцами, приготовленными с применением водопроводной воды. При использовании комбинированной активации воды затворения (кислая + магнитная активация) прочность на сжатие увеличивается в 2 раза, а при изгибе — в 1,3 раза. При этом существенно снижается водопоглощение образцов во всех случаях применения магнитной активации воды затворения.

Полученные результаты при комбинированной активации воды затворения связаны с особенностями кислотно-щелочного гидролиза в торфе. При затворении вяжущего (из низинного торфа) магнитообработанной водой активированные ионы Ca^{2+} более интенсивно обмениваются на катионы Na^+ , что вызывает деформацию диффузационного слоя. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению количества связанной торфяными частицами воды и, следовательно, к снижению средней толщины гидратных оболочек, сокращению расстояния между ними. Создаются условия для более полного проявления сил межмолекулярного взаимодействия частиц и более эффективного распределения воды по торфянной массе с преобладанием в ней закрытых микро- и ультрадисперсных пор. Улучшаются условия для смачивания и прилипания полученного торfovяжущего к частицам древесного заполнителя, что приводит к существенно меньшему значению величины водопоглощения торфодревесной композиции и увеличению прочностных характеристик.

Известно, что в органической части торфа после механоактивации в водной среде роль парамагнитных центров повышается в результате образования свободных радикалов. Наибольшей устойчивостью отличаются парамагнитные свойства гуминовых кислот, что обусловлено синергетическим эффектом взаимодействия ароматических систем и водородных связей функциональных групп [11]. Содержание гуминовых кислот увеличивается от верхового торфа к низинному и повышается при механоактивации верхового торфа. Поэтому при взаимодействии магнитно-обработанной воды затворения и органоминеральной матрицы независимо от типа торфа эффект магнитной активации будет усиливаться.

Способность низинного торфа реагировать на различные виды активации, позволяющие регулировать его свойства в различных направлениях, объясняется возможностью органоминеральных компонентов торфа образовывать сложные по структуре рыхлые агрегаты путем взаимодействия непосредственно друг с другом либо через молекулы воды и ионы многовалентных металлов. В низинном торфе макромолекулы в ассоциатах упакованы более плотно и неравномерно. Этому способствуют высокое значение pH низинного торфа и присутствие в нем многовалентных катионов, более плотно сшивающих макромолекулы по отдельным звеньям. Чем больше значение pH торфа, тем выше степень ионизации активных групп, а следовательно, сильнее сшивающее действие многовалентных катионов и пептизирующее — одновалентных, что и объясняет снижение водопоглощения композиционных материалов [11].

Таким образом, полученные результаты показали высокую эффективность принятых способов обработки воды затворения, повышение реакционной способности и возможность управлять эксплуатационными характеристиками теплоизоляционных материалов на основе торфа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Копаница, Н.О. Рациональное использование торфа в строительных технологиях [Текст] / Н.О. Копаница, А.И. Кудяков, Ю.С. Саркисов [и др.] // Стройт. материалы. — 2007. — № 12. — С. 32–34.
2. Копаница, Н.О. Особенности регулирования эксплуатационных свойств эффективных торфодревесных материалов [Текст] / Н.О. Копаница, Д.В. Лычагин, М.А. Калашникова // Стройт. материалы. — 2007. — № 7. — 85 с.
3. Сафронов, В.Н. Электрофизические технологии в производстве строительных материалов [Текст] / В.Н. Сафронов. — Томск : ТГАСУ, 2014. — 420 с.
4. Safronov, V.N. Untersuchung des Einflusses einer magnetischen Behandlung auf die Eigenschaften keramischer Materialien [Текст] / V.N. Safronov, S.N. Sokolova // Keramishe Zeitschrift. — 2005. — N 1. — P. 10–13.
5. Ерофеев, В.Т. Композиционные строительные материалы на активированной воде затворения [Текст] / В.Т. Ерофеев, А.А. Матвиевский, А.К. Осипов [и др.] // Стройт. материалы. — 2007. — № 11. — С. 56–57.
6. Тебенихин, Е.Ф. Обработка воды магнитным полем в теплоэнергетике [Текст] / Е.Ф. Тебенихин, Б.Т. Гусев. — М. : Энергия, 1970. — 144 с.
7. Андрианов, К.А. Справочник по электроматериалам. Магнитные, проводниковые, полупроводниковые и другие материалы [Текст] / К.А. Андрианов, Н.П. Богородицкий, Ю.В. Корицкий [и др.]. — М.; Л. : Госэнергоиздат, 1960. — 511 с.
8. Копаница, Н.О. Влияние магнитной обработки воды на свойства торфодревесной композиции [Текст] / Н.О. Копаница, М.А. Ковалева, В.Н. Сафронов // Вестн. ТГАСУ. — 2009. — № 1. — С. 122–125.
9. Еремина, А.Н. Влияние активированной жидкости затворения на гидравлическую активность минеральных вяжущих и твердение цементных систем: дис. ... канд. техн. наук [Текст] / А.Н. Еремина. — Томск, 2002. — 154 с.
10. Пасько, О.А. Активированные жидкости, электромагнитные поля и фликер-шум. Их применение в медицине и сельском хозяйстве [Текст] / О.А. Пасько, А.В. Семенов, Г.В. Смирнов [и др.]. — Томск : ТУСУР, 2007. — 410 с.
11. Копаница, Н.О. Формирование структур твердения в системе «низинный торф — активированная вода» [Текст] / Н.О. Копаница, В.Н. Сафронов, М.А. Ковалева // Вестн. ТГАСУ. — 2009. — № 2. — С. 111–122.

КОПАНИЦА Наталья Олеговна, д-р техн. наук, проф.; E-mail: kopanitsa@mail.ru
Томский государственный архитектурно-строительный университет
САФРОНОВ Владимир Николаевич, канд. техн. наук, проф.; E-mail: vnsafronov@mail.ru

Томский государственный архитектурно-строительный университет
КОВАЛЕВА Маргарита Алексеевна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: xomoch28@mail.ru
Томский государственный архитектурно-строительный университет
САРКИСОВ Юрий Сергеевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: sarkisov@tsuab.ru
Томский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 02.04.15

Kopanitsa Natalya Olegovna, doctor of technical sciences, professor; E-mail: kopanitsa@mail.ru, Tomsk State University of Architecture and Building, Russia

Safronov Vladimir Nikolaevich, candidate of technical sciences, professor; E-mail: vnsafronov@mail.ru, Tomsk State University of Architecture and Building, Russia

Kovalyova Margarita Alekseevna, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: xomoch28@mail.ru, Tomsk State University of Architecture and Building, Russia

Sarkisov Yuryi Sergeevich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: sarkisov@tsuab.ru, Tomsk State University of Architecture and Building, Russia

ACTIVATION OF ROUGH COMPONENTS AND MOLDING MIXTURES IN PRODUCTION OF INSULATION MATERIALS

The questions related to the use of electro-activation methods of raw materials and molding compounds based on peat for efficient building materials. The regimes of electromagnetic and electrochemical activation and results of evaluation of physical-mechanical properties of construction materials, shows a significant effect associated with increased strength, reduced density and water absorption.

Key words: insulation, activation, peat, structure hardening.

REFERENCES

1. Kopanitsa, N.O. Rational use of peat in building technologies [Text] / N.O. Kopanitsa, A.I. Kudyakov, Yu.S. Sarkisov [et al.] // Building materials. — 2007. — N 12. — P. 32–34.
 2. Kopanitsa, N.O. Features of effective regulation of operational properties of materials torfodrevesnyh [Text] / N.O. Kopanitsa, D.V. Lychagin, M.A. Kalashnikova // Building materials. — 2007. — N 7. — 85 p.
 3. Safronov, V.N. Electro-technologies in building materials [Text] / V.N. Safronov. — Tomsk: TSUAB, 2014. — 420 p.
 4. Safronov, V.N. Untersuchung des Einflusses einer- magnetischen Behandlung auf die Eigenschaften keramischer Materialien [Text] / V.N. Safronov, S.N. Sokolova // Keramisheitschrift. — 2005. — N 1. — P. 10–13.
 5. Yerofeyev, V.T. Composite building materials activated water mixing [Text] / V.T. Yerofeyev, A.A. Matvievskiy, A.K. Osipov [et al.] // Building materials. — 2007. — N 11. — P. 56–57.
 6. Tebenihin, E.F. Water treatment by a magnetic field in the heat [Text] / E.F. Tebenihin, B.T. Gusev. — M. : Energia, 1970. — 144 p.
 7. Andrianov, K.A. Handbook of electric materials. Magnetic, conducting, semiconducting and other materials [Text] / K.A. Andrianov, N.P. Bogoroditskiy, Yu.V. Koritskiy [et al.]. — M.; L. : Gosenergoizdat, 1960. — 511 p.
 8. Kopanitsa, N.O. Influence of magnetic water treatment on the properties of the composition torfodrevesnoy [Text] / N.O. Kopanitsa, M.A. Kovaleva, V.N. Safronov // Herald TSUAB. — 2009. — N 1. — P. 122–125.
 9. Eremina, A.N. Influence active water for hidravlik action mineral cement : yew. cand. tech. sci [Text] / A.N. Eremina. — Tomsk, 2002. — 154 p.
 10. Pasko, O.A. Activated liquid, electromagnetic fields and flicker noise. Their use in medicine and agriculture [Text] / O.A. Pasko, A.V. Semenov, G.V. Smirnov [et al.]. — Tomsk : TUSUR, 2007. — 410 p.
 11. Kopanitsa, N.O. The formation of hardening structures in the «lowland peat — activated water» [Text] / N.O. Kopanitsa, V.N. Safronov, M.A. Kovaleva // Vestnik TSUAB. — 2009. — N 2. — P. 111–122.
-

УДК 691.51/.55.002.3

О.А. МИРЮК

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРЫ

Исследовано влияние вещественного состава формовочной массы на свойства магнезиальных композитов различной структуры. Показана возможность комплексного использования техногенных материалов для композиций.

Ключевые слова: мелкозернистая структура, волокна, пустотельные гранулы, образование пор, пеномасса.

Современному строительству необходимы ресурсосберегающие композиционные материалы с заданными свойствами. Характеристики композитов определяются микроструктурой камня вяжущего, мезоструктурой контактной зоны заполнителя с камнем вяжущего, макроструктурой заполнителя. Ресурсосбережению композитов способствует малая энергоемкость технологических процессов; рациональное применение техногенного сырья.

Формирование структуры композитов зависит от состава и состояния исходных материалов, в первую очередь, вяжущего вещества. Магнезиальные вяжущие выгодно отличаются малой энергоемкостью производства; способностью каустического магнезита к интенсивному твердению; высокой прочностью, адгезией к заполнителям различного вида. Активизирующее воздействие магнезиального гидрооксихлоридного вяжущего на природные и техногенные материалы — основа для получения смешанных вяжущих [1–3].

Цель исследования — разработка магнезиальных композитов различной структуры с комплексным использованием техногенных отходов.

Композиции готовили из смешанного вяжущего, включающего каустический магнезит (30–50 %) и тонкомолотые отходы обогащения скарново-магнетитовых руд (50–70 %). Затворитель формовочных масс — раствор хлорида магния плотностью 1240 кг/м³. Свойства композитов определяли на образцах размером 40×40×160 мм.

Композиции плотной мелкозернистой структуры готовили на основе заполнителя — фракций дробленых отходов обогащения скарново-магнетитовых руд. Пестрый состав и многообразие генезиса обеспечивают техногенному сырью полифункциональность. Многоэтапное измельчение щебневидных отходов с отделением заданных фракций частиц позволяет получать наполнитель для вяжущего и мелкозернистый заполнитель бетона.

Замена каустического магнезита на смешанное вяжущее с содержанием техногенного компонента до 30–50 % практически не снижает прочностных показателей бетона (табл. 1). При использовании заполнителей укрупненных фракций отмечено превосходство по прочности

Таблица 1. Мелкозернистые композиции различного состава

Доля техногенного компонента в вяжущем, %	Фракции техногенного заполнителя, мм	Вяжущее : заполнитель	Жидкое : твердое	Средняя плотность, кг / м ³	Предел прочности при сжатии, МПа
0	2,5–1,25	1 : 1	0,28	2299	62
30	»	»	0,21	2424	67
50	»	»	0,29	2484	70
70	»	»	0,15	2504	45
0	1,25–0,63	»	0,29	2260	57
30	»	»	0,23	2441	54
50	»	»	0,19	2469	55
70	»	»	0,16	2468	38
0	»	1 : 1,5	0,24	2335	43
30	»	»	0,19	2482	42
50	»	»	0,16	2355	38
0	0,63–0,315	1 : 1	0,30	2135	38
30	»	»	0,22	2285	39
50	»	»	0,19	2303	36
0	»	1 : 1,5	0,24	1907	25
30	»	»	0,20	2137	27

композитов на основе смешанного вяжущего. При увеличении доли заполнителя в формовочной массе чувствительность к составу смешанного вяжущего возрастает. Для сохранения высоких показателей прочности, сопоставимых с показателями каустического магнезита, при увеличении доли заполнителя следует ограничивать присутствие техногенного компонента в смешанном вяжущем.

Для оптимизации состава фракционированного техногенного заполнителя использован метод математического планирования эксперимента, который позволил определить содержание предпочтительных фракций (мм), %: «2,5–5,0» — 62,5...75,0; «0,63–2,5» — 16,7...22,5; «0,14–0,63» — 8,3...15,0. Преобладание в смеси крупной фракции «2,5–5,0» мм при рациональном соотношении с частицами меньшего размера обеспечит тесное срастание составляющих композиционного материала, формирование плотной структуры и повышенную прочность магнезиального бетона (рис. 1).

Для упрочнения зернистых композитов целесообразна предварительная обработка заполнителя солевым затворителем. Первичный контакт с раствором хлорида магния освобождает от пыли и активизирует поверхность зерен заполнителя, что усиливает сцепление компонентов бетона. Данные электронной микроскопии свидетельствуют о снижении дефектности контактных зон в микроструктуре композитов (см. рис. 1).

Композиции волокнистой структуры содержат растительные волокна различного размера (табл. 2). Плотность композиций на смешанных вяжущих проявляет тенденцию роста при увеличении доли техногенного

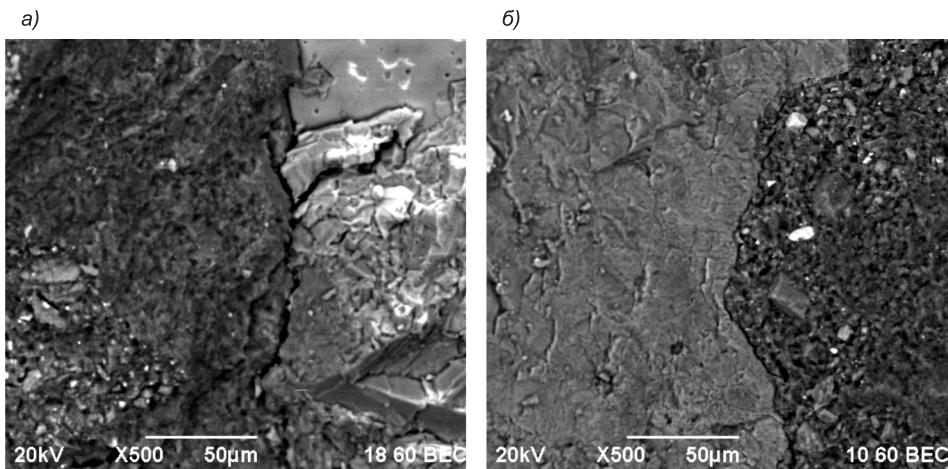


Рис. 1. Структура композитов с техногенным заполнителем различного приготовления
а — совместное перемешивание компонентов смеси; б — первый контакт заполнителя с солевым затворителем

Таблица 2. Волокнистые композиции различного состава

Доля техногенного компонента в вяжущем, %	Фракция древесных частиц, мм	Жидкое : твердое	Средняя плотность, кг / м ³	Коэффициент водостойкости	Предел прочности, МПа	
					при изгибе	при сжатии
0	1,25–0,63	0,43	1558	0,45	15	46
»	0,63–0,14	»	1754	0,43	13	46
»	2,5–1,25	»	1617	0,38	17	50
30	1,25–0,63	0,30	1627	0,55	14	38
»	0,63–0,14	0,32	1860	0,63	15	39
»	2,5–1,25	0,35	1695	0,57	16	48
50	1,25–0,63	0,28	1731	0,72	13	30
»	0,63–0,14	0,27	1895	0,81	14	28
»	2,5–1,25	»	1705	0,75	15	31

наполнителя. По мере сокращения каустического магнезита в вяжущем снижается прочность композитов, что связано с уменьшением доли кристаллического гидрооксихлорида магния, образованием аморфных гидросиликатов магния [2].

Композиции комбинированной структуры сформированы из зернистых и волокнистых частиц с предпочтительным размером не более 2,5 мм, что повышает однородность строения. Дополнительно вводили пустотелую микросферу (отход теплоэнергетики) с диаметром 100–250 мкм.

Наличие волокнистых частиц, имеющих высокое водопоглощение, увеличивает потребность в затворителе, способствует снижению плотности и уменьшению прочности при сжатии (табл. 3). Прочность на изгиб композитов возросла на 8–13 % за счет введения древесных частиц. Композиты комбинированного строения характеризуются плотной упаковкой составляющих, надежным сцеплением камня вяжущего

Таблица 3. Композиции комбинированной структуры

Доля техногенного компоненты в вяжущем, %	Доля зернистого компонента, %		Древесные опилки, (доля 20 %) фракции, мм	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа
	отходы обогащения руд, фракция 0,63–0,14 мм	микросфера			
0	80	—	1,25–0,63	1658	46
»	80	—	0,63–0,14	1754	46
»	80	—	2,5–1,25	1617	50
30	80	—	1,25–0,63	1697	43
»	80	—	0,63–0,14	1860	45
»	80	—	2,5–1,25	1695	51
50	80	—	1,25–0,63	1728	35
»	80	—	0,63–0,14	1910	38
»	80	—	2,5–1,25	1725	39
70	80	—	1,25–0,63	1725	30
»	80	—	0,63–0,14	1960	34
»	80	—	2,5–1,25	1862	38
50	—	5	1,25–0,63	1506	31
»	—	5	0,63–0,14	1567	33
»	—	5	2,5–1,25	1534	35
»	—	10	2,5–1,25	1455	37

с заполнителями (рис. 2). Увеличение доли техногенного компонента в вяжущем снижает клеящие свойства теста, повышает общую плотность композиции за счет возрастающей доли «тяжелого» компонента (см. табл. 2).

Морфология микросферы предопределяет неоднозначное влияние пустотелых частиц на композиции. За счет высокой удельной поверхности микросферы повышается вязкость и седиментационная устойчивость массы. Сферическая форма и гладкая поверхность микросферы способствуют снижению трения и тиксотропному увеличению подвижности массы. Присутствие микросферы ограничено 10 % по причине резкого ухудшения технологических свойств и понижения прочности композитов. Сравнительная характеристика композитов, содержащих древесные опилки с различными зернистыми частицами, указывает на предпочтительность сочетания микросфер с фиброй (табл. 3).

Для создания комбинированной структуры важна последовательность сочетания компонентов формовочной массы. При преобладании зернистых заполнителей целесообразно первоначальное смешение этого компонента с затворителем, затем введение вяжущего и, в последнюю очередь, древесных частиц. Микросферу в композиции зернистого и волокнистого строения желательно вводить на завершающем этапе.

Композиции ячеистой структуры образованы на основе смешанного магнезиального вяжущего (50 % техногенный наполнитель) и по-рообразующих компонентов: протеинового пеноконцентрата (ПК)

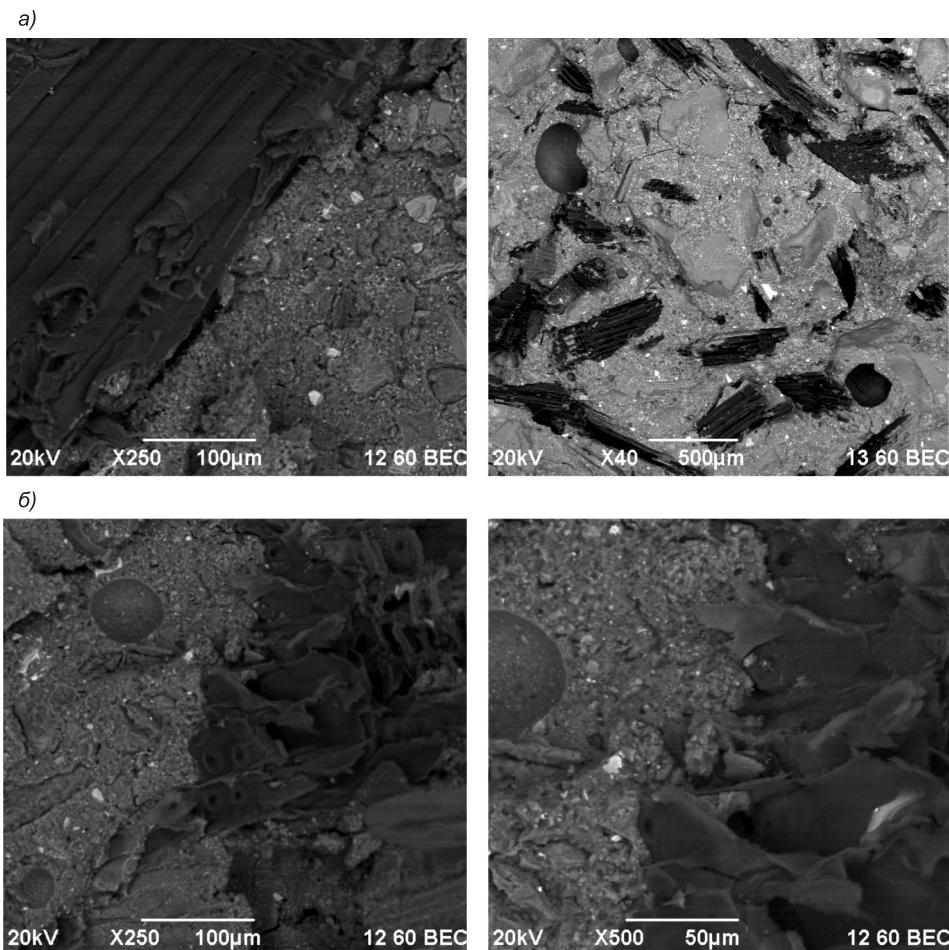


Рис. 2. Структура композитов с волокнистым компонентом на основе отходов обогащения руд и древесных частиц (а) и микросфера и древесных волокон (б)

«Унипор», газообразователя — перекиси водорода H_2O_2 , гранул пенополистирола (ППС).

Пеномассу готовили одностадийным вспениванием суспензии при скорости вращения вала с лопастями 900 об/мин, обеспечивающим устойчивую, однородную, замкнутую пористость с ячейками 0,1–1 мм (рис. 3). Газообразование с участием перекиси водорода заключается в выделении кислорода в течение 10–15 мин. Для эффективного газонасыщения необходима соответствующая консистенция формовочной массы, которую регулируют соотношением «жидкость : твердое». Высокоподвижная масса имеет слабую газоудерживающую способность; в чрезмерно вязкой массе увеличение объема газа ограничено, в структуре образуются разрывы. Для композиций с ППС благоприятна умеренно вязкая масса, равномерно обволакивающая гранулы, формируя монолит.

Исследовано совместное влияние порообразующих компонентов. Целесообразно сочетание ПК с перекисью водорода. В пеномассе облегчается распределение и удерживание пузырьков газа (см. рис. 3). При

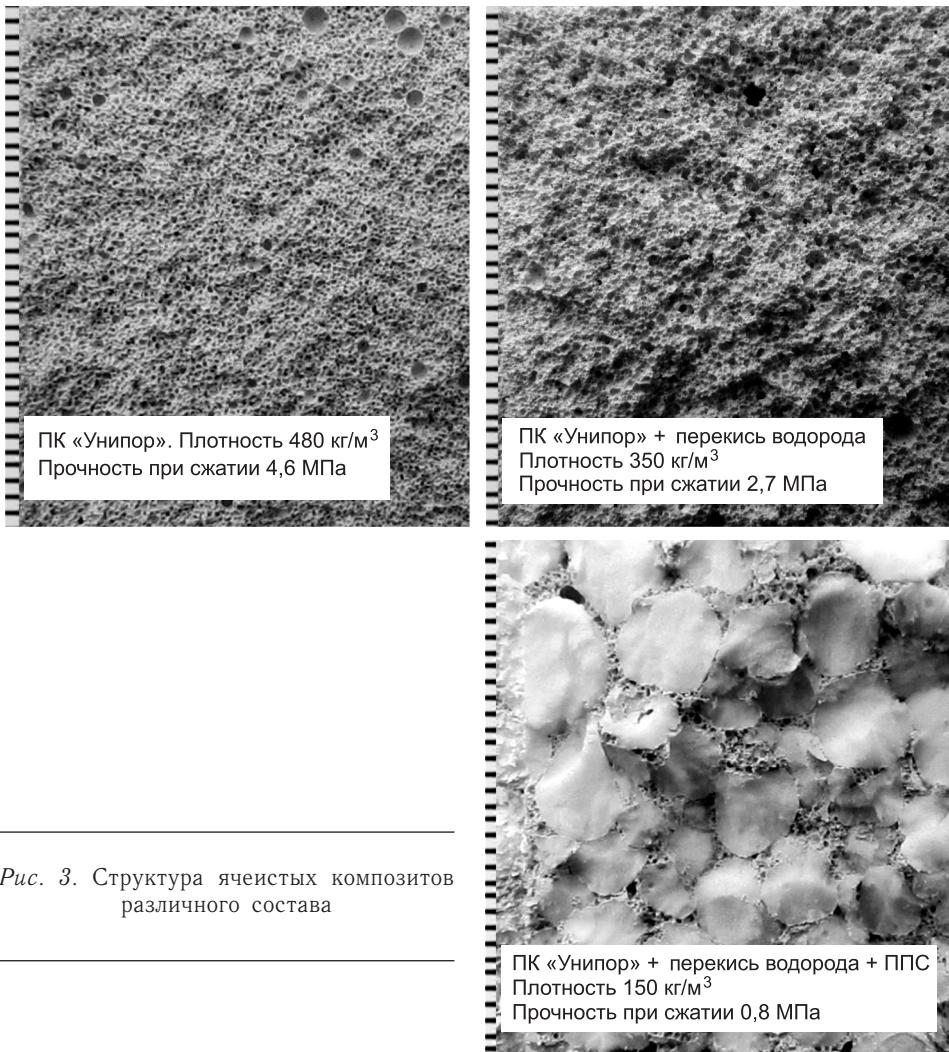


Рис. 3. Структура ячеистых композитов различного состава

совмещении ПК и ППС гранулы смешивали с пеномассой, создавая структуру с плотностью 300 кг/м³ и менее. Повышенная пористость магнезиальных композитов обеспечивается комплексной поризацией формовочной смеси с реализацией различных механизмов вспучивания и последующим объемным омоноличиванием гранул ППС пеногазомассой (см. рис. 3).

Формовочные массы дифференциальной пористости могут быть использованы при формировании структуры вариатропного бетона, характеризующегося по сечению переменными значениями средней плотности. Для магнезиальных бетонов характерна мелкая шаровидная форма ячеек, наличие кристаллического компонента в межпоровых перегородках, что обеспечивает высокопористую структуру, превышающую по прочности цементные аналоги (рис. 4).

Выводы. Высокая активизирующая способность и совместимость магнезиального вяжущего оксихлоридного твердения по отношению к материалам различного состава и строения позволяют синтезировать

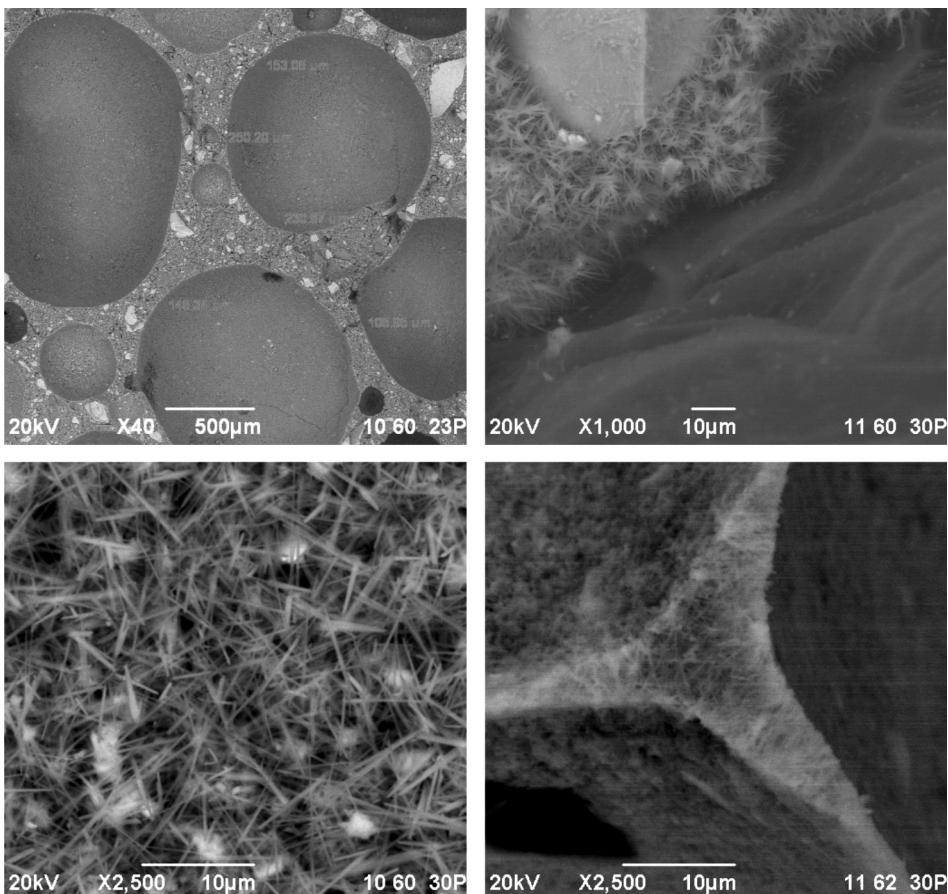


Рис. 4. Структура ячеистого композита комплексной поризации

композиты зернистой, волокнистой, ячеистой и комбинированной структур с комплексным использованием техногенного сырья. Благодаря интенсивному твердению и наличию кристаллических гидратов магнезиальные материалы обеспечивают повышенную прочность композитов плотной и ячеистой структур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В е р е щ а г и н, В.И. Водостойкие смешанные магнезиальные вяжущие [Текст] / В.И. Верещагин, В.Н. Смиренская, С.В. Эрдман // Стекло и керамика. — 1997. — № 11. — С. 33–37.
2. М и р ю к, О.А. Вяжущие вещества из техногенного сырья [Текст] / О.А. Мирюк, И.С. Ахметов. — Рудный : Руднен. индустр. ин-т, 2002. — 250 с.
3. М и р ю к, О.А. Влияние состава минерального компонента на твердение магнезиальной композиции [Текст] / О.А. Мирюк // Новости науки Казахстана. — 2006. — № 2. — С. 115–120.

*МИРЮК Ольга Александровна, д-р техн. наук, проф.; E-mail: psm58@mail.ru
Рудненский индустриальный институт, Казахстан*

Получено 30.03.15

Miryuk Olga Aleksandrovna, doctor of technical sciences, professor; E-mail: psm58@mail.ru, Rudny Industrial Institute, Kazakhstan

MAGNESIAN COMPOSITES OF VARIOUS STRUCTURE

Influence of material structure of forming weight on properties of magnesian composites of various structure is investigated. Possibility of complex use of technogenic materials for compositions is shown.

Key words: fine-grained structure, fibers, formation of a cell, hollow granules, foam-mass.

REFERENCES

1. Vereshchagin, V.I. Waterproof mixed magnesia cement [Text] / V.I. Vereshchagin, V.N. Smirenskaya, S.V. Erdman // Glass and ceramics. — 1997. — N 11. — P. 33–37.
 2. Miryuk, O.A. Binders from technogenic raw [Text] / O.A. Miryuk, I.S. Akhmetov. — Rudny : Rudny Industrial Institute, 2002. — 250 p.
 3. Miryuk, O.A. Influence of mineral component composition on hardening of magnesium composition [Text] / O.A. Miryuk // Novosti nauki Kazachstana. — 2006. — N 2. — P. 115–120.
-

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 697.921:725.826.053.3

Д.М. ДЕНИСИХИНА

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕДОВЫХ АРЕН

Методы математического моделирования позволяют проанализировать трехмерные поля скорости, температуры, влагосодержания по объему исследуемого помещения.

В работе изучены три различные схемы воздухораспределения ледовой арены. Основное отличие рассмотренных схем в способах организации подачи воздуха в зону ледового поля.

Результаты моделирования показали, что при сохранении баланса по влаге и температуре, при отсутствии подачи воздуха на ледовое поле в зоне катания формируется течение с теми же параметрами воздуха, что и при подаче воздуха соплами.

Ключевые слова: ледовая арена, математическое моделирование, турбулентные течения, уравнения Навье–Стокса, воздухораспределение.

Введение. Проектирование систем вентиляции и кондиционирования крытых ледовых арен усложнено необходимостью поддержания существенно отличающихся значений параметров воздуха в зоне ледового поля и в зоне нахождения зрителей. Заполненные зрительские трибуны приводят к формированию свободно-конвективных потоков теплого воздуха настолько мощных, что они начинают определять глобальную циркуляцию воздуха во всем объеме чаши. При этом создается угроза попадания теплого влажного воздуха в зону ледового поля, что является недопустимым (подтаивание льда, искривление его поверхности, образование тумана над ледовым полем).

При проектировании воздухораспределения ледовых арен необходимо рассматривать взаимодействие потоков, создаваемых приточными устройствами и конвективных потоков от массива зрителей. Учитывая очень сложный характер течения, формирующийся в объеме арены, отделить зоны влияния данных потоков, спрогнозировать их поведение становится трудно. Кроме того, в задачах с искусственным льдом возникает необходимость учета радиационной составляющей на значительной части поверхностей, участвующих в теплообмене (поверхности льда, кровли, стен) [1]. Проектировщик сталкивается с дефицитом информации и методик, позволяющих принять оптимальные технические решения [1], а упрощенные инженерные методы перестают давать адекватные значения.

Распространенное проектное решение — подача, как правило, посредством сопел, «сухого» воздуха в зону ледового поля. При этом, дальность струй оказывается существенным образом зависящей от заполненности зала, т.е. от температурного поля, формируемого в объеме

арены. В результате в процессе эксплуатации ледовых арен зачастую сталкиваются с проблемой возникновения подтаивания и искривления ледового поля, связанной с попаданием воздуха из сопел в непосредственную близость льда и соответственно разрушением естественной холлодной «подушки», формирующейся над ледовой поверхностью.

Цель настоящей работы — проанализировать различные схемы воздухораспределения, а именно выявить влияние различной подачи воздуха в зону ледового поля на параметры воздушной среды, формирующими в объеме арены и в частности в зоне катания. Отметим, что параметры воздуха в зоне катания спортсменов являются основными технологическими требованиями, предъявляемыми к системам кондиционирования воздуха ледовых арен.

Метод исследования. Инструментом исследования в настоящей работе был гидродинамический вычислительный комплекс STAR-CCM+, основанный на численном решении трехмерных дифференциальных уравнений сохранения. Уравнения сохранения, описывающие течение в объеме арены, аналогичны [2].

Для раздельного учета конвективного и радиационного потоков от человека система дифференциальных уравнений дополнялась уравнением радиационного теплообмена:

$$\nabla(I(\vec{r}, \vec{s}) \vec{s}) + (a + \sigma_s) I(\vec{r}, \vec{s}) = a \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s} \vec{s}') d\Omega',$$

где \vec{r} — радиус-вектор;

\vec{s} — вектор направления излучения;

\vec{s}' — вектор рассеяния;

a — коэффициент поглощения;

σ_s — коэффициент рассеяния;

I — полная интенсивность излучения, зависящая от радиус-вектора и направления излучения;

Φ — индикатор рассеяния;

Ω' — телесный угол;

σ — постоянная Стефана–Больцмана ($5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/ $\text{м}^2 \cdot \text{К}^4$).

В последние годы методы численного моделирования все больше используются в задачах вентиляции и кондиционирования воздуха [3], в частности для анализа воздухораспределения ледовых арен [4]. Методы вычислительной гидродинамики позволяют получать трехмерные поля температуры, скорости, влажности воздуха по всему объему арен. Анализ таких полей позволяет понять сложную структуру взаимодействия потоков в объеме чаши, скорректировать схему воздухораспределения таким образом, чтобы обеспечить требуемые параметры воздушной среды.

Постановка задачи. Характеристика объекта. Вместимость рассматриваемой ледовой арены составляет 12 000 зрителей.

В работе рассмотрено три схемы воздухораспределения, отличающиеся способом подачи воздуха в зону ледового поля:

1. Подача воздуха в зону ледового поля происходит «холодными» струями от сопел, расположенных кольцом над ледовым полем на высоте 24 м, направленными на борта поля (схема № 1).

2. Подача воздуха в зону ледового поля происходит «теплыми» струями от сопел, расположенных кольцом над ледовым полем на высоте 24 м, *направленными к центру ледового поля* (схема № 2).

3. Подача воздуха в зону ледового поля не происходит (схема № 3).

Обслуживание зоны зрителей для всех трех вариантов одинаково и проводится с помощью вихревых диффузоров, расположенных кольцами по периметру зала над трибунами тремя линиями. Высота установки диффузоров 1, 2 и 3-й линии составляет 23,5; 23,0 и 21,0 м соответственно. Расход воздуха, подаваемого на зрителей, равномерно распределен между тремя линиями диффузоров. Параметры приточного воздуха на диффузорах незначительно скорректированы, чтобы сохранить общий баланс в объеме арены по влаге и температуре для всех трех рассматриваемых вариантов подачи воздуха.

Если не изменять значения влагосодержания и температуры на диффузорах, обслуживающих трибуны (такие варианты расчета были выполнены вначале), то анализ результатов оказывается затруднен, так как не ясны причины отклонения параметров: в силу изменения способа подачи воздуха или за счет изменения «среднего» уровня параметров, произошедшего в результате разного количества влаги, температуры, вносимого сопловыми устройствами в различных вариантах.

Параметры приточного воздуха для трех рассматриваемых схем воздухораспределения приведены в таблице.

Параметры на притоке для различных схем воздухораспределения

Оборудование	Параметры на притоке	Схема воздухораспределения		
		№ 1	№ 2	№ 3
Сопловые воздухораспределители DUC-V-A-E1/400	Температура, °C	10	20	—
	Влагосодержание, г/кг	2	2	—
	Расход, м ³ /ч	42 700	42 700	—
Приточные вихревые диффузоры OD-11-800	Температура, °C	15	13,9	14,5
	Влагосодержание, г/кг	5	5	4,7
	Расход, м ³ /ч	400 000	400 000	442 700
	Влагосодержание, г/кг	5	5	4,7

Схема расположения воздухораспределительных устройств и другого оборудования показана на рис. 1.

Для качественной оценки распределения углекислого газа по объему арены на всех приточных устройствах было задано абсолютное значение концентрации $C_{CO_2} = 400$ ppm.

Удаление воздуха осуществляется через решетки, расположенные по периметру зала над зрительными рядами на высоте 27,5 м с общим расходом $L_{общ} = 442 700$ м³/ч.

Тепло- и влагопоступление в объем арены. Исследование влияния способа подачи воздуха в зону ледового поля проводилось при следующих тепло- и влагопоступлениях:

Люди на трибунах: явные тепловыделения 1 032 000 Вт, влаговыделение 840 кг/ч, выделение CO₂ 540 кг/ч.

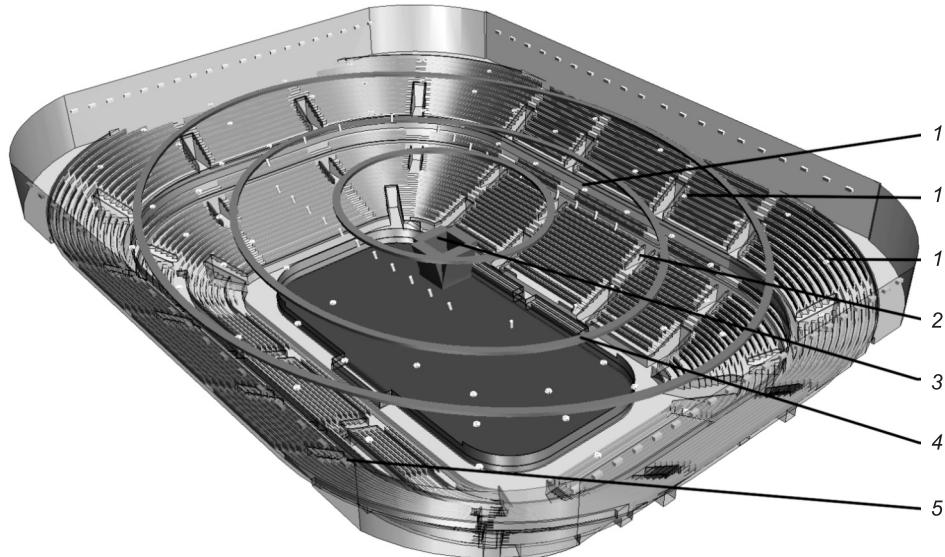


Рис. 1. Схема расположения оборудования

1 — приточные диффузоры; 2 — сопловые воздухораспределители; 3 — медиакуб; 4 — освещение; 5 — воздухозаборные решетки

Спортсмены на поле: явные тепловыделения 2400 Вт, влаговыделение 6 кг/ч, выделение CO_2 0,9 кг/ч.

Запасные игроки: явные тепловыделения 6000 Вт, влаговыделение 840 кг/ч, выделение CO_2 2,6 кг/ч.

Теплопритоки от медиакуба: 50 000 Вт. Теплопоступления от освещения: в объем зала выделяется 158 600 Вт.

Температура наружного воздуха $T = 25^{\circ}\text{C}$.

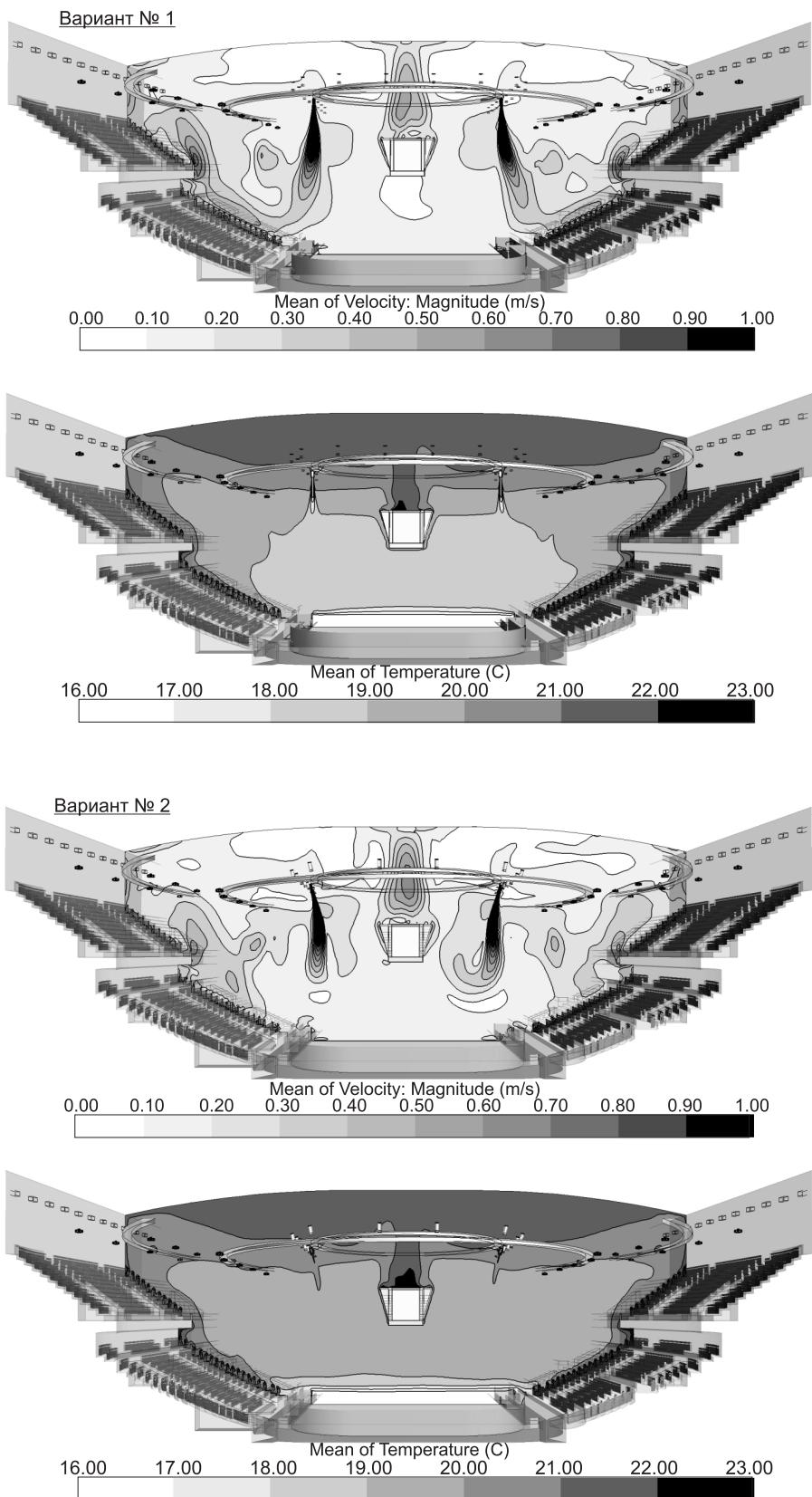
Лед: температура поверхности льда -5°C , конденсация на льду 9,4 кг/ч.

Стены и кровля арены принимаются адиабатными.

Для проведения расчетов была построена конечно-объемная расчетная сетка размерностью 18–24 млн ячеек. Особое внимание было уделено разрешению сеточной структуры в области формирования, развития и распространения приточных струй из сопел и диффузоров, а также качеству расчетной сетки у поверхности кровли и льда.

Результаты расчета. Результаты расчета представлены в виде полей скорости, температуры, влагосодержания (рис. 2, 3) и графиков изменения перечисленных параметров с высотой (рис. 4).

Схема № 1. Как видно из рис. 2, при подаче соплами «холодного» воздуха (температура $+10^{\circ}\text{C}$) в направлении бортов приточная струя распространяется вниз и достигает области первых рядов трибун со скоростью около 0,4 м / с, затем разворачивается и вовлекается в свободно-конвективные потоки воздуха, поднимающегося от зрителей вдоль трибун. В центральной части арены, «обслуживаемой» соплами, температура воздуха оказывается примерно на $0,5^{\circ}\text{C}$ ниже, чем вне этой зоны (см. рис. 2). В верхней части арены, начиная с отметки 25 м, температура воздуха почти постоянна и составляет $21,5^{\circ}\text{C}$.



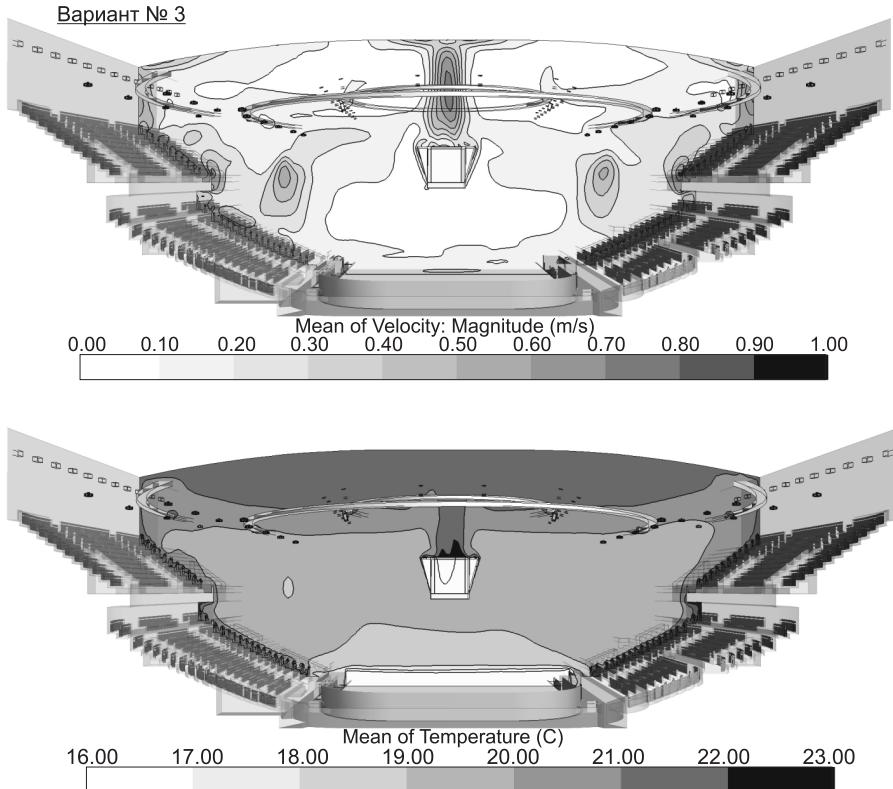


Рис. 2. Распределение модуля скорости и температуры в вертикальном сечении для трех вариантов подачи воздуха

Значение влагосодержания в области, «обслуживаемой» соплами, оказывается всего на 0,1–0,2 г / кг ниже чем вне этой области. В зоне ледового поля оно оставляет около 5 г / кг.

Подвижность воздуха в зоне катания на отметке 1,5 м не превышает значения 0,2 м / с и в среднем равняется 0,15 м / с.

В зоне трибун скорость воздуха находится в основном в диапазоне 0,15–0,3 м / с, температура — 19–21 °С. Минимальные значения температуры наблюдаются в первых рядах трибун, максимальные — в последних.

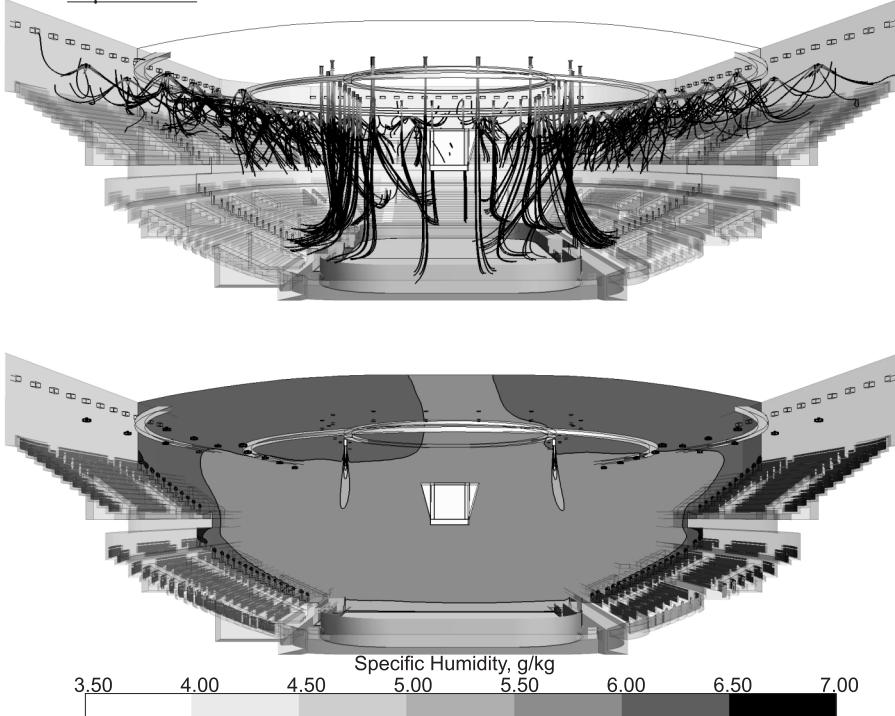
Схема № 2. При подаче соплами «теплого» воздуха (температура +20 °С) в направлении центра поля приточные струи вовлекают в себя теплый воздух верхней части арены и затем вносят дополнительное тепло в ее центральную часть (см. рис. 1, 4). Струи от сопел распространяются вниз только до отметки 8 м над поверхностью поля, далее разворачиваются к центру и поднимаются вверх, образуя циркуляционную зону над полем с пониженными (на 0,3–0,4 г / кг) значениями влагосодержания (см. рис. 3). Однако влияние сопел на распределение влагосодержания заканчивается существенно выше ледового поля. Параметры в зоне катания «чувствуют» наличие сопел за счет уменьшения среднего уровня влагосодержания в объеме чаши.

Подвижность воздуха в зоне катания на отметке 1,5 м не превышает значения 0,2 м / с, в среднем 0,15 м / с.

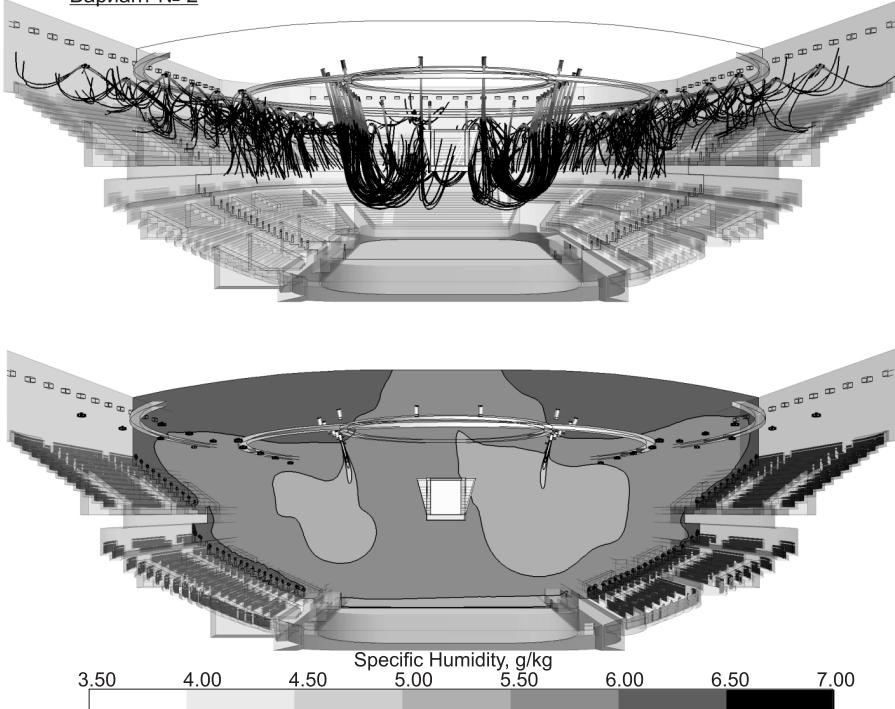
Холодная «подушка» над ледовым полем оказывается незатронутой. Температура в зоне ледового поля на отметке 1,5 м колеблется в диапазоне 13,5–14,5 °C.

Параметры воздуха в зоне трибун аналогичны схеме № 1.

Вариант № 1



Вариант № 2



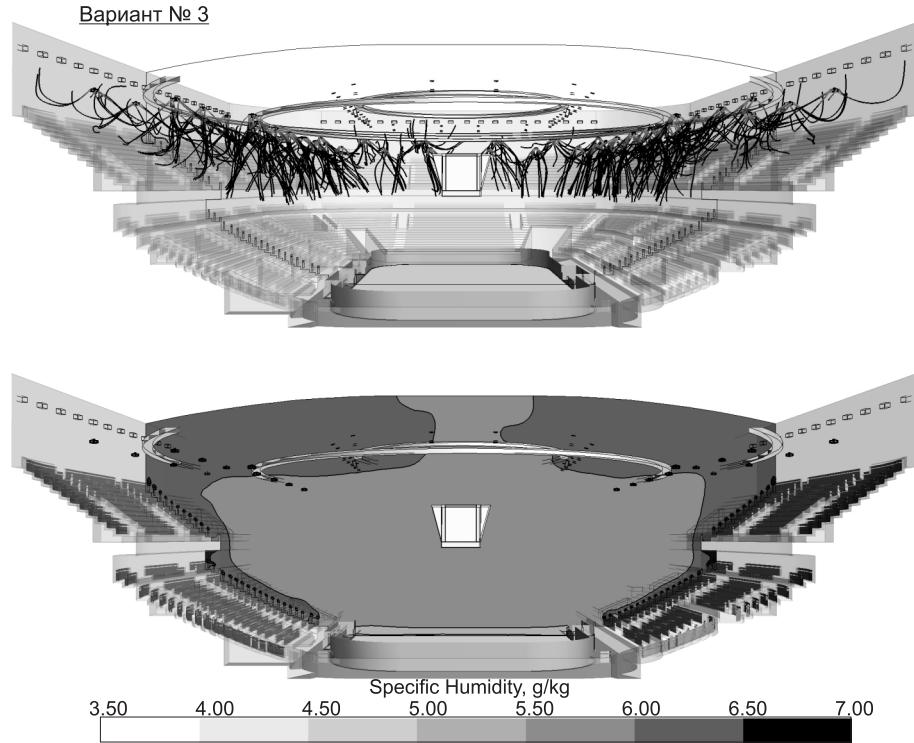


Рис. 3. Линии тока из приточных устройств и распределение влагосодержания в вертикальном сечении для трех вариантов подачи воздуха

Схема № 3. В случае отсутствия подачи воздуха в зону ледового поля над ним (примерно до высоты 2 м) формируется естественная холодная подушка. Подвижность воздуха в центральной части арены достаточно низкая (см. рис. 2).

Как и для схем № 1, 2, глобальную циркуляцию в объеме арены создают интенсивные свободно-конвективные потоки теплого воздуха от зрителей, отсутствие подачи воздуха из сопел эту циркуляцию не нарушает. Скорость в восходящих потоках до 0,4 м/с.

Влагосодержание равномерно по большей части объема арены с понижением значений к поверхности поля и увеличением в зоне трибун и верхней части (выше отметки 23 м) арены. В области ледового поля оно составляет около 5 г/кг.

Параметры воздуха в зоне трибун аналогичны схемам № 1, 2.

Сравнение между собой схем № 1, 2 и 3. Температура воздуха над поверхностью поля до отметки $\approx 2,5$ м совпадает для всех трех случаев, постепенно увеличиваясь до 17°C (см. рис. 4). До высоты ≈ 19 м температура остается почти постоянной. Между уровнями 2,5 и 19 м наименьшую температуру ($18,8^{\circ}\text{C}$) в зоне над ледовым полем имеет схема с подачей холодного воздуха из сопел на борта (схема № 1), чуть выше (19°C) — без подачи воздуха в зону ледового поля (схема № 3) и наибольшую температуру ($19,3^{\circ}\text{C}$) имеет схема с подачей теплого воздуха в зону ледового поля (схема № 2). Последнее связано с вовлечением масс теплого воздуха из верхней части объема арены струями сопел.

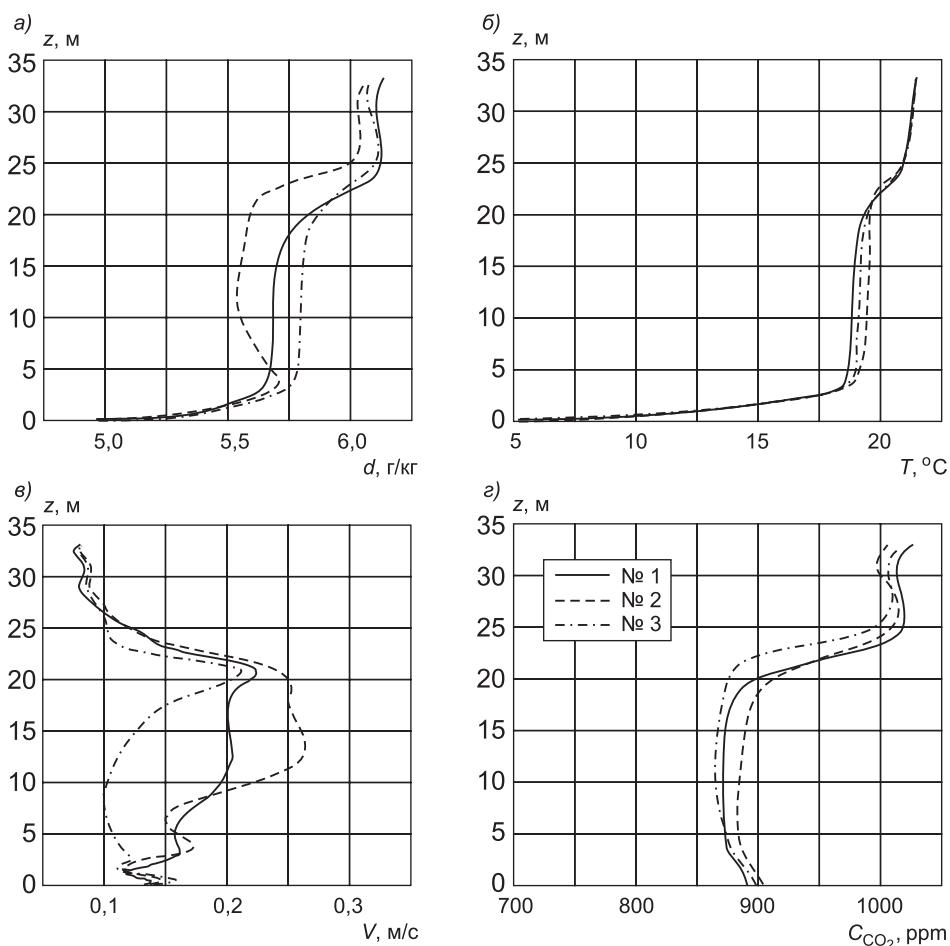


Рис. 4. Изменение средних значений влагосодержания (а), температуры (б), модуля скорости (в) и концентрации углекислого газа (г) над ледовым полем с высотой

Начиная с отметки 25 м над поверхностью льда (уровень расположения осветительного оборудования), распределение температуры для всех трех случаев совпадает, температура до 33 м слабо меняется и равняется приблизительно 21,5 °С.

Таким образом, распределение температуры по высоте арены совпадает для всех трех схем на отметках с 0 до 2,5 м и с 25 до 33 м и незначительно ($0,5^{\circ}\text{C}$) отличается на отметках с 2,5 до 25 м.

Похожая картина наблюдается в значениях влагосодержания. До отметки 2,5 м значения близки для трех схем. Затем профили распределения влагосодержания с высотой заметно отличаются для рассмотренных схем. Так, для схемы №1 и 3 наблюдается монотонный рост влагосодержания до 7 м (см. рис. 4), а в случае схемы №2 вначале влагосодержание увеличивается до отметки 4 м, достигая значения 5,7 г / кг, а затем падает до 5,5 г / кг. Это объясняется тем, что разворот струй от сопел к центру зала формирует циркуляционное течение с пониженным влагосодержанием. Однако вне этой зоны значения влагосодержания близки к значениям других схем. На отметке 1,5 м над полем значения влаго-

содержания для 1, 2 и 3-й схемы равняются 5,48; 5,50 и 5,56 соответственно, таким образом, влияние рассмотренных схем подачи воздуха со-плами на параметры вблизи льда составляет менее 0,1 г / кг, т. е. пренебрежимо мало.

Для всех вариантов распределение скорости над ледовым полем находится в основном диапазоне 0,1–0,2 м / с. При этом форма профиля изменения скорости по высоте схожа в зоне от 0 до 2 м (см. рис. 4).

Профили концентрации углекислого газа СО₂ по высоте помещения для рассмотренных схем подобны друг другу. Наблюдается незначительное (на 15–20 ppm) повышение концентрации СО₂ к поверхности льда. С 3,5 до 19 м для всех схем значение концентрации СО₂ не меняется с высотой.

Выводы. В работе с помощью методов математического моделирования проведен анализ влияния различной подачи воздуха в зону ледового поля на параметры воздушной среды, формирующиеся в объеме арены, в частности в зоне катания.

Все три расчета были выполнены при условии сохранения баланса по влаге и температуре. Получено, что подача воздуха в зону ледового поля влияет в основном на параметры воздуха в центральной части арены и слабо сказывается на значении параметров в непосредственной близости ото льда.

Исследование позволяет рассмотреть вариант отказа от сопел, занося «сухой» воздух сопел в баланс приточных устройств, обслуживающих зону трибун. При этом существенно сокращается риск подтаивания льда при эксплуатации арен и обеспечиваются требуемые параметры в зоне катания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Русаков, С.В. К расчету тепловых и влажностных нагрузок ледовых катков. Нагрузка от радиационного переноса теплоты [Текст] / С.В. Русаков // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». — 2014. — № 1. — URL: <http://refrigeration.ihbt.ifmo.ru/>(дата обращения: 20.04.2015).
2. Анисимов, С.М. Решение задачи турбулентного переноса импульса, тепла, примеси в объеме «чаши» ледовой арены [Текст] / С.М. Анисимов, Д.М. Денисихина, В.И. Полушкин // Вестн. граждан. инженеров. — 2012. — № 5(34). — С. 149–155.
3. Li, Y. CFD and ventilation research [Текст] / Y. Li, P.V. Nielsen // Indoor Air. — 2011. — Vol. 21(6). — P. 442–453.
4. Stobiecka, A. Comparison of air distribution systems in ice rink arena ventilation [Текст] / A. Stobiecka, B. Lipska, P. Koper // Science — Future of Lithuania. — 2013. — Vol. 5(4). — P. 429–434.

*ДЕНИСИХИНА Дарья Михайловна, канд. физ.-мат. наук, доц.; E-mail: denisikhina@mail.ru
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено 27.04.15

Denisikhina Daria Mikhaylovna, candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor; E-mail: denisikhina@mail.ru, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

RESEARCH OF DIFFERENT AIR DISTRIBUTION SCHEMES IN ICE RINK ARENA

Numerical simulation methods allow to analyze the three-dimensional velocity, temperature, humidity fields in the investigated room.

In present paper three different air distribution schemes of ice arena are analyzed. The main difference in discussed schemes is the way of organizing air supply towards the ice field zone.

Simulation results showed that, while maintaining the balance of moisture and temperature, the air parameters near the ice field are very similar for schemes with and without nozzle air supply towards ice zone.

Key words: indoor ice rinks, numerical simulation, turbulent flows, Navier–Stokes equations, air distribution.

REFERENCES

1. Rusakov, S.V. Heat and moisture loads of ice rinks. Radiation heat transfer [Text] / S.V. Rusakov // Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya «Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovaniye». — 2014. — N 1. — URL: <http://refrigeration.ihbt.ifmo.ru>: (date of access: 20.04.2015).
 2. Anisimov, S.M. Turbulent transfer of momentum, heat and scalar in Indoor Ice Skating Rinks [Text] / S.M. Anisimov, D.M. Denisikhina, V.I. Polushkin // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. — 2012. — N 5 (34). — P. 149–155.
 3. Li, Y. CFD and Ventilation Research [Text] / Y. Li, P.V. Nielsen // Indoor Air. — 2011. — Vol. 21(6). — P. 442–453.
 4. Stobiecka, A. Comparison of air distribution systems in ice rink arena ventilation [Text] / A. Stobiecka, B. Lipska, P. Koper // Science — Future of Lithuania. — 2013. — Vol. 5(4). — P. 429–434.
-

УДК 628.356.4

В.Н. КУЛЬКОВ, Е.Ю. СОЛОПАНОВ, В.М. СОСНА

МЕХАНИЧЕСКАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ ИММОБИЛИЗОВАННОГО ИЛА В БИОРЕАКТОРЕ С ДВУРЯДНОЙ ПРОДОЛЬНОЙ АЭРАЦИЕЙ

Получено скалярное поле скорости очищаемой воды в вертикальном поперечном сечении аэротенка-биореактора с двумя аэраторами. Приведена кинетика осаждения ила на ершовую загрузку после механической регенерации иммобилизованного ила. Определена эффективность механической регенерации от количества мелкозернистых аэраторов. Физическая модель аэротенка позволила показать, что двурядное расположение аэрационной системы увеличивает время седиментации свободно плавающего ила и эффективность механической регенерации иммобилизованного ила.

Ключевые слова: аэротенк-биореактор, ершовая загрузка, поле скорости водно-иловой смеси, механическая регенерация загрузки, иммобилизованный ил, свободно плавающий ил.

Система аэрации аэротенка-биореактора поддерживает активный ил во взвешенном состоянии, насыщает водно-иловую смесь кислородом и создает благоприятные гидродинамические условия во всем объеме биореактора для окисления органических загрязнений. Эффективность работы пневматических аэраторов зависит от расположения их в биореакторе. Ширина и форма аэрационной полосы в аэротенке-биореакторе влияют на формирование гидродинамической структуры потока и в значительной степени определяют эффективность процесса массопередачи [1]. Существуют различные варианты расположения пневматических аэраторов в плане: продольное, поперечное, диагональное, поперечно-диагональное, продольно-диагональное, неупорядоченное и сплошное.

При разработке биохимического метода очистки сточных вод широкое распространение получили аэротенки с расположением аэраторов вдоль одной из стен коридора, что создает спиралеобразное движение жидкости. Пузырьки воздуха вводятся в струю воды, скорость движения которой в 2–3 раза выше скорости их движения. Вследствие этого, время контакта газ–жидкость уменьшается до 25–30 % от ожидаемой величины и в аэротенке глубиной 3 м составляет 3–4 с вместо 10–12 при соответственном снижении эффекта массопередачи [1]. На основании натурных наблюдений были показаны преимущества двустороннего расположения аэраторов в коридоре, позволившего более рационально использовать подаваемый в аэротенк воздух [1].

Крупномасштабные исследования, проведенные на очистных сооружениях г. Милуоки, показали, что степень использования кислорода составила: для одностороннего расположения аэраторов вдоль стены (спиралеобразный поток) 3,9–6,5 %, для поперечной системы — 9,6–17,1,

для продольной пятирядной системы ~ 13 , для неупорядоченной системы «воронки шаги» $\sim 11\%$ [2].

Поле скорости движения сточной воды и распределение активного ила в аэротенке-биореакторе можно изучать только при использовании плоскостной физической модели биореактора. Такие эксперименты в реальном аэротенке провести нельзя. Возможность физического моделирования газогидродинамических процессов в аэротенке-биореакторе определяется пузырьками воздуха, проходящими через аэратор, размеры которых обусловливаются материалом фильтрующей поверхности, а также скоростью подъема пузырьков, вызывающих сонаправленное движение потока воды.

В первом приближении газогидродинамическое подобие в модели определяется критериями Рейнольдса, Фруда и Вебера. Скорость движения жидкости в поверхностном слое производственных аэрируемых сооружений очистки сточных вод должна совпадать со скоростью жидкости в модельной установке при ρ_f и $\mu_f = \text{idem}$, что позволяет сделать вывод о функциональной зависимости, в первом приближении описывающей подобные процессы при условии использования аэраторов идентичной конструкции:

$$\text{Re} = \frac{\rho_f v_f d_q}{\mu_f} = \text{idem}, \quad \text{Fr} = \frac{v_f^2}{g d_q} = \text{idem}, \quad \text{We} = \frac{\sigma}{v_f^2 \rho_f d_q} = \text{idem},$$

где ρ_f , μ_f и v_f — плотность, вязкость и скорость жидкости;
 d_q — эквивалентный диаметр пузырьков газа (воздуха);
 g — ускорение свободного падения;
 σ — коэффициент поверхностного натяжения.

В исследованиях поля скорости воды применялся мелкопузырчатый аэратор, для которого в качестве материала фильтрующей поверхности использовалось диспергирующее покрытие мелкопузырчатого аэратора АКВА-ЛАЙН. Сопоставление численных значений скоростей воды, полученных при моделировании (рис. 1) и измеренных в поверхностном слое воды «методом поплавка» на аэротенке-вытеснителе левобережных КОС г. Иркутска и равных $\sim 0,60$ м/с, свидетельствует о возможности применения физического моделирования для изучения гидродинамики в модели аэротенка. Это позволяет переносить экспериментальные зависимости, полученные на модельной установке, на производственные аэрируемые сооружения очистки сточных вод. Критерий Рейнольдса для приведенного случая равнялся 1936, что указывает на переходный характер движения жидкости в поверхностном слое от ламинарного к турбулентному.

Построенное по результатам исследований скалярное поле скорости течения воды в вертикальном поперечном сечении биореактора с двурядной мелкопузырчатой аэрацией показывает, что по площади зоны сечения поле скорости весьма неоднородно, значение скорости изменяется от 0,6 до 0,05 м/с и менее (см. рис. 1). Наибольшие численные значения скорости реализуются по периметру двух циркуляционных контуров, уменьшаясь по направлению к их центральным зонам. Вращение водно-иловой смеси в контурах осуществляется по часовой (правый контур)

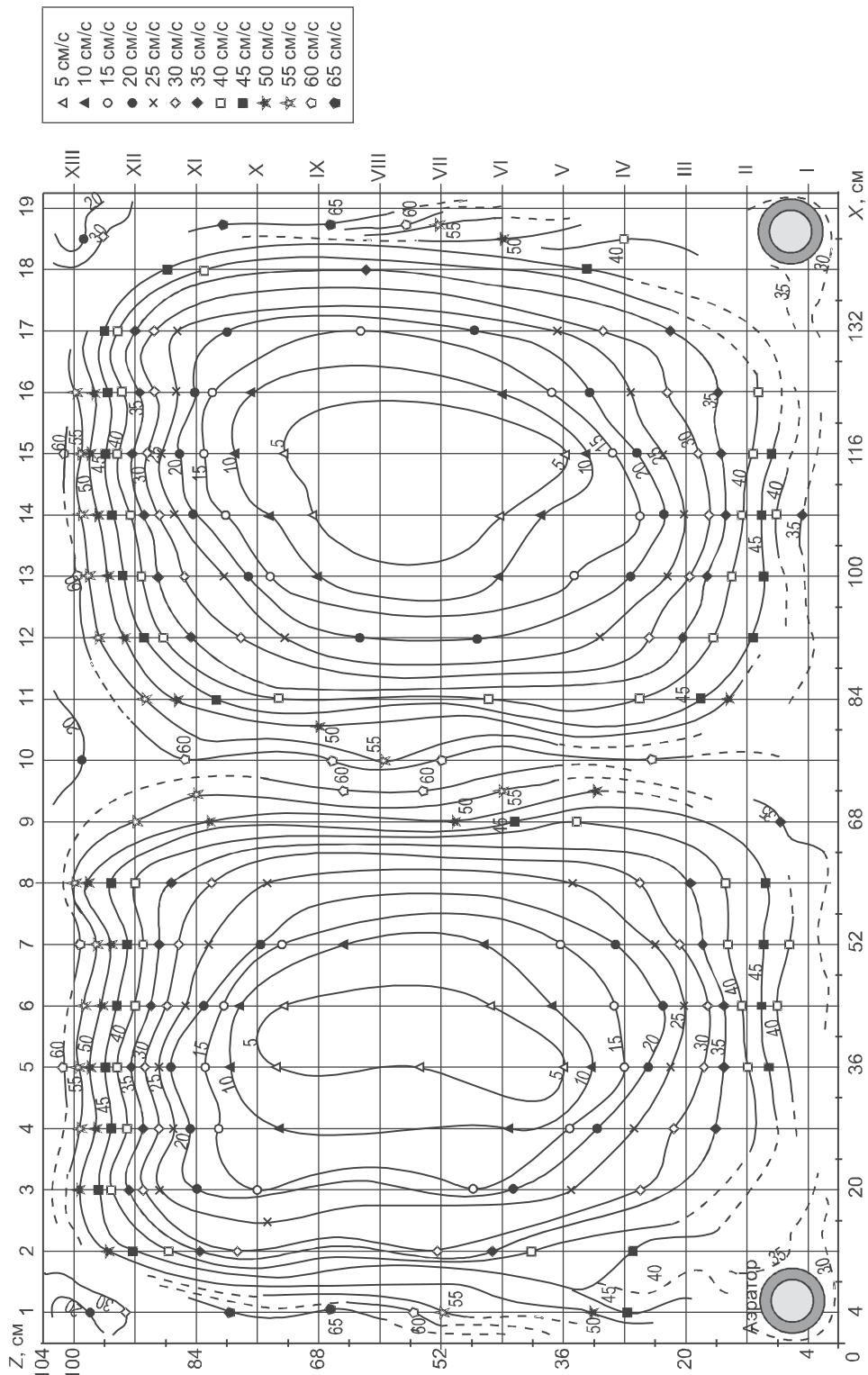


Рис. 1. Скалярное поле скорости течения жидкости в модели вертикального поперечного сечения биореактора с двурядной мелкокапузырчатой аэрацией $J_{\Sigma} = 7,0 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{ч})$

и против часовой стрелки (левый контур). В центре контуров скорость в ~ 10 раз меньше, чем по их периметру, что позволяет характеризовать их как застойные зоны с минимальной окислительной способностью. Центральные застойные зоны имеют вертикальную вытянутую форму и определяются шириной коридора биореактора. Идентичности или зеркального отображения контуров не наблюдается. Форма контуров показывает квазистационарную гидродинамическую обстановку в поперечном сечении биореактора, которая, в свою очередь, определяется газодинамикой пузырьков, поднимающихся в сонаправленных потоках сточной воды от двух мелкопузырчатых аэраторов.

Необходимо отметить, что в правом и левом углу аэротенка, вдоль продольных сторон, где установлены мелкопузырчатые аэраторы, наблюдаются зоны с небольшими скоростями сточной воды ~ 30 см/с и менее. Это создает возможность оседания активного ила по углам аэротенка, что приводит к незначительному уменьшению окислительной способности аэротенка и появлению зон вторичного загрязнения сточных вод. Полученное скалярное поле скорости воды (см. рис. 1) реализуется между соседними рядами ершей (занавесками), расположенными через 0,1 м.

Введение красящей метки в жидкость наглядно показывает существование двух застойных зон в вертикальном поперечном сечении аэротенка (рис. 2).

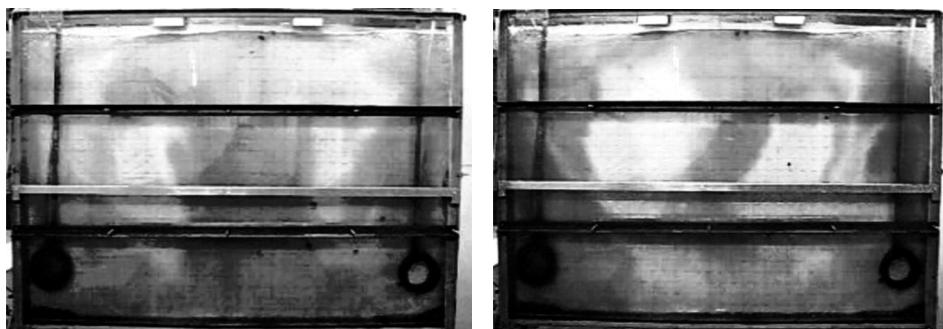


Рис. 2. Застойные зоны в вертикальном поперечном сечении аэротенка при двурядной мелкопузырчатой аэрации

Размещение синтетической ершовой загрузки в модели аэротенка-биореактора изменяет скалярное поле скорости (рис. 3). Численные значения скорости по периметру контуров имеют меньшие значения, а ширина потока жидкости, определяемая ершовой загрузкой, в 2 раза уже. В центральной области поперечного сечения аэротенка (в ершовой загрузке) потоки имеют слабо выраженное направление при средней скорости 0,05 м/с. Центральный поток, направленный вниз, не сохраняет скоростей поверхностного потока ($\sim 0,5$ м/с), а имеет скорости $\sim 0,35$ м/с и ниже. Два придонных потока имеют противоположные направления со скоростью $\sim 0,25$ м/с, обусловленные циркуляционным движением жидкости и подсосом воды угловыми аэраторами.

Общая тенденция уменьшения скоростей гидродинамических потоков объясняется ершовой загрузкой, создающей повороты потока под углом 90° и формирующей сжатые потоки, проходящие между вертикальной ершовой загрузкой.

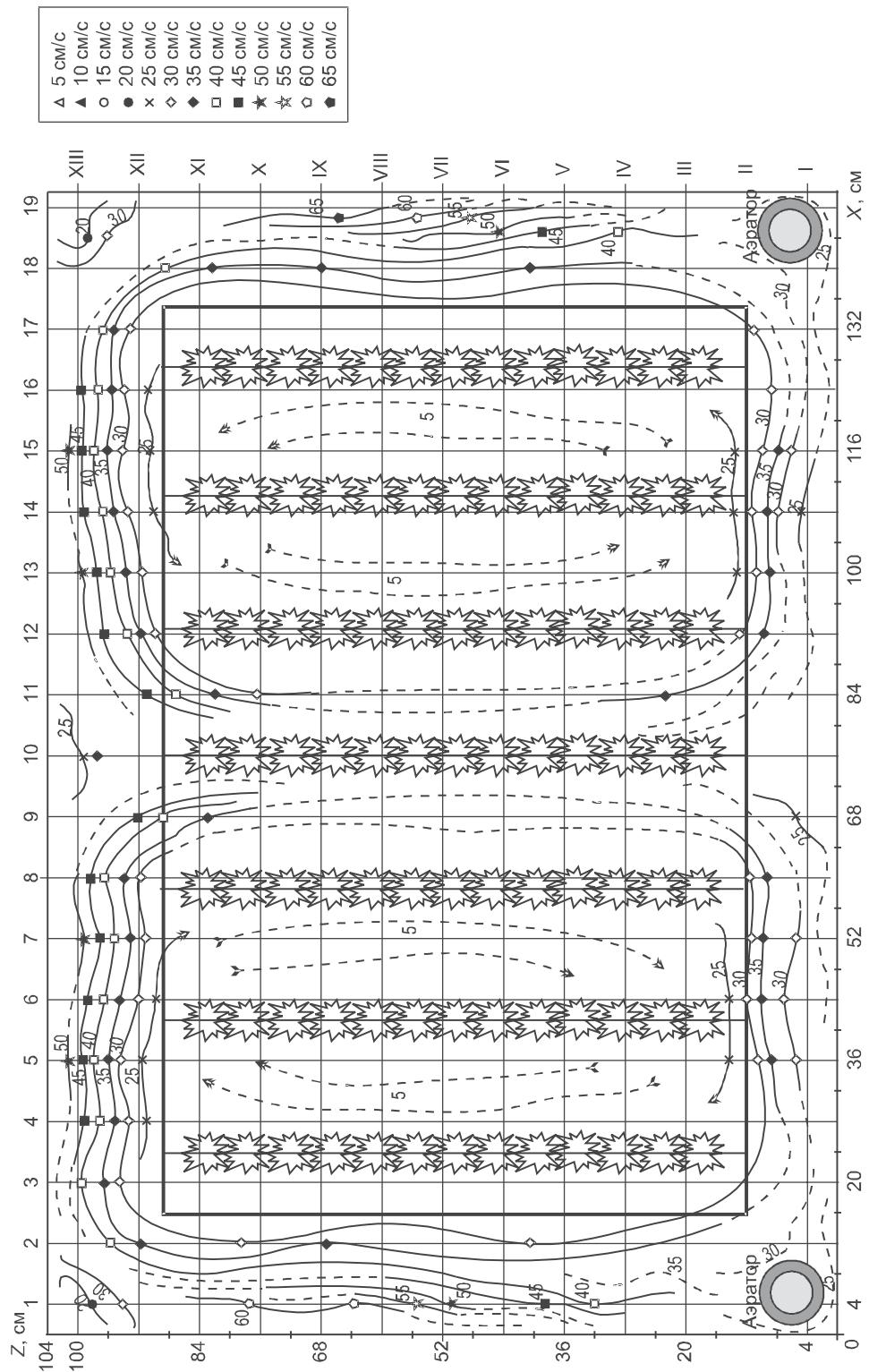


Рис. 3. Скалярное поле скорости течения воды в модели биореактора с ершовой загрузкой

Использование продольной двурядной аэрационной системы в аэротенке-биореакторе существенно влияет на механическую регенерацию иммобилизованного ила, осевшего на ершовой синтетической загрузке, расположенной в центральной области коридора аэротенка. В модельной ячейке, объемом 0,08 м³, размещали 7 вертикальных ершей длиной 0,62 м и диаметром 0,05 м, а их механическая регенерация обеспечивалась колебаниями рамки с ершовой загрузкой электромеханическим дебалансным вибратором, расположенным над модельной ячейкой. Регенерацию проводили электровибратором с вынуждающей силой 0,5 кН, суммарная доза ила составляла 0,304 г/л, иловый индекс — 120 мл/г, время регенерации — 30 с, интенсивность мелкопузырчатой аэрации — 7 м³/(м² · ч). Схема установки и расположение ершовой загрузки в биореакторе, используемой в эксперименте, описаны в [3].

Двурядное расположение аэрационной системы увеличивает время седиментации свободно плавающего ила после его регенерации на 30 мин (~22 %) по сравнению с однорядным расположением (рис. 4).

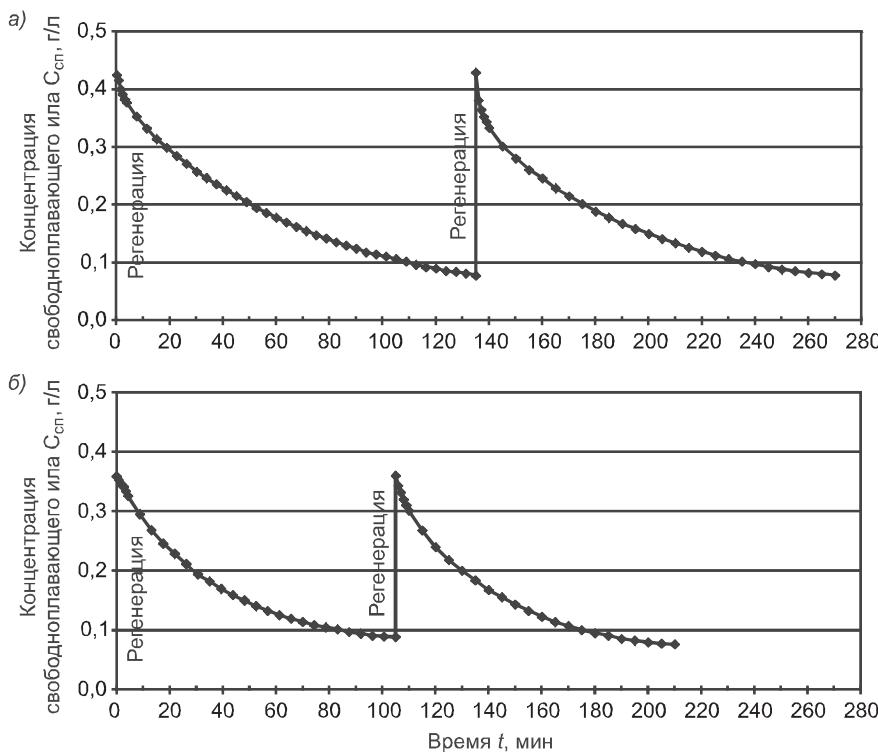


Рис. 4. Регенерация иммобилизованного ила и кинетика осаждения свободно плавающего ила на ершовой загрузке при двурядной (а) и однорядной (б) аэрации водно-иловой смеси

Расчет эффективности механической регенерации проводили по формуле

$$\Theta = \frac{C_{\text{сп}}^{\text{H}} - C_{\text{сп}}^{\text{K}}}{a_{\Sigma} - C_{\text{сп}}^{\text{K}}} \cdot 100 \%,$$

где $C_{\text{сп}}^{\text{H}}$ — концентрация свободно плавающего ила после регенерации;

$C_{\text{сп}}^{\text{K}}$ — концентрация свободно плавающего ила до регенерации;

a_{Σ} — общая доза ила в модели, г/л.

Эффективность механической регенерации иммобилизованного ила при двурядной аэрации на ~15 % выше, чем при однорядной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попкович, Г.С. Системы аэрации сточных вод [Текст] / Г.С. Попкович, Б.Н. Репин. — М. : Стройиздат, 1986. — 136 с.
2. Leary, R. Full scale oxygen transfer studies of seven diffuser systems [Текст] / R. Leary, E. Lawrence, W. Katz // JWPCF. — 1968. — Vol. 40, N 7. — P. 459–473.
3. Кульков, В.Н. Регенерация синтетической загрузки в биореакторе [Текст] / В.Н. Кульков, Е.Ю. Солопанов, В.М. Сосна // Изв. вузов. Строительство. — 2013. — № 1. — С. 92–100.

КУЛЬКОВ Виктор Николаевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: kulkof.viktor@yandex.ru

Иркутский национальный исследовательский технический университет

СОЛОПАНОВ Евгений Юрьевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: evgyrsolo@mail.ru

Иркутский национальный исследовательский технический университет

СОСНА Виктор Михайлович, асп.; E-mail: vsosna@bk.ru

Иркутский национальный исследовательский технический университет

Получено 14.04.15

Kulkov Viktor Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: kulkof.viktor@yandex.ru, Irkutsk National Research Technical University, Russia

Solopanov Eugene Yurevich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: evgyrsolo@mail.ru, Irkutsk National Research Technical University, Russia

Sosna Viktor Mihailovich, post-graduate student; E-mail: vsosna@bk.ru, Irkutsk National Research Technical University, Russia

MECHANICAL REGENERATION OF IMMOBILIZED SLUDGE IN THE BIOREACTOR WITH DOUBLE-ROW LONGITUDINAL AERATION

The scalar field of purified water velocity in vertical cross-section of the aeration tank with two aerators was obtained. The kinetics of precipitation of sludge on brush loading after mechanical regeneration of immobilized sludge was given. The efficiency of mechanical regeneration from the number of fine bubble aerators was determined. The model allowed us to show that the double-row arrangement of the aeration system increases the time of sedimentation of free-floating sludge and the efficiency of mechanical regeneration of immobilized sludge.

Key words: aerotank-bioreactor, brush loading, velocity field of water-sludge mixture, mechanical loading regeneration, immobilized sludge, free floating sludge.

REFERENCES

1. Popkovich, G.S. Systems of wastewater aeration [Text] / G.S. Popkovich, B.N. Repin. — M. : Stroyizdat, 1986. — 136 p.
2. Leary, R. Full scale oxygen transfer studies of seven diffuser systems [Text] / R. Leary, E. Lawrence, W. Katz // JWPCF. — 1968. — Vol. 40, N 7. — P. 459–473.
3. Kulkov, V.N. Regeneration of synthetic download in bioreactors [Text] / V.N. Kulkov, E.Yu. Solopanov, V.M. Sosna // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2013. — N 1. — P. 92–100.

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

УДК 665.775.4:678.048

**В.П. КИСЕЛЁВ, В.А. ШЕВЧЕНКО, Г.В. ВАСИЛОВСКАЯ,
Л.А. ИВАНОВА, В.Д. ВОРОНЧИХИН**

МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ НЕФТИАНОГО ДОРОЖНОГО БИТУМА

В настоящее время для увеличения надежности и уровня долговечности дорожных покрытий предлагается использовать модифицированный битум, в связи с этим поиск модифицирующих добавок является актуальной задачей. Впервые рассмотрены в качестве модифицирующих добавок при получении полимер-битумных вяжущих (ПБВ) низкомолекулярные полибутадиеновые каучуки с функциональными группами на концах макромолекулярной цепи. С целью установления оптимального содержания каждого из исследованных в работе каучуков и оценки влияния особенностей их строения на качество ПБВ определяли: температуру размягчения по «КиШ»; пенетрацию при 25 °C; растяжимость при 25 °C; температуру хрупкости по Фраасу. Применение низкомолекулярных каучуков СКД-0, СКД-ГТРА (в концентрации 2–5 %) и СКД-КТР (в концентрации 2–8 %) позволяет в значительной мере улучшить физико-механические свойства полимер-битумного вяжущего.

Ключевые слова: битум, модifikаторы, низкомолекулярный каучук, концевые функциональные группы.

Проблема качества битума является актуальной для дорожной отрасли. Свойства массовых западносибирских нефтей и технология получения битумов путем высокотемпературного окисления гудронов не позволяют выпускать высококачественные вяжущие. Для повышения эксплуатационной надежности дорожных покрытий необходимо улучшить качество дорожного битума. В зарубежной и отечественной практике для устройства и ремонта дорожных покрытий используются композиционные материалы на основе битума и различных модификаторов, таких как сера, каучуки, термоэластопласти-блоксополимеры стирол-бутадиен-стирола (СБС) и другие термопластичные полимеры. Применение эластомеров СБС увеличивает интервал пластичности полимербитумного вяжущего (ПБВ) за счет снижения температуры хрупкости и повышения температуры размягчения. Кроме того, ПБВ превосходит битум по эластическим свойствам и по адгезионной способности [1]. Это приводит к повышению прочности асфальтобетона.

Существует мнение [2], что рост прочностных характеристик асфальтобетона происходит, в основном, за счет увеличения когезионной прочности ПБВ — способности противостоять разрушающей нагрузке самого

© Киселёв В.П., Шевченко В.А., Василовская Г.В., Иванова Л.А., Ворончихин В.Д.,
2015

материала, адгезионные характеристики при этом мало изменяются. Что касается значительного повышения эластичности и адгезии ПБВ к каменным материалам, то необходимо учитывать следующее. Невулканизированные эластомеры (в большинстве случаев именно такие продукты и используют) в исходном виде не обладают в достаточной мере высокоэластическими свойствами. Добавленные в массу битума они не способны существенно увеличивать адгезию ПБВ к минеральным материалам, поскольку в состав каучуков и термоэластопластов реакционноспособные группы не входят. Вулканизированные каучуки — отходы в виде регенераторов резин и т.д. — не обладают адгезией к каменным материалам, но при хорошей гомогенизации с битумом образуют сетчатые структуры в вяжущем с большой долей эластичности. Отрицательным фактором является невысокая растворимость и невулканизированных, и вулканизированных каучуков в битуме. Каучуки вводят в битум в основном в виде масляного раствора (растворитель — индустриальное масло И-40). Индустриальное масло — растворитель для эластомера и пластификатор для битума — увеличивает его растяжимость при 25 и 0 °С, практически не влияет при этом на эластичность и не оказывает положительного влияния на адгезионные свойства вяжущего.

Предложено использовать в составах вяжущего полимерные поверхностно-активные вещества (ПАВ) [3]. Важным фактором, повышающим адгезию вяжущего, как отмечает автор, является использование в качестве концевых функциональных макромолекул групп полимерного ПАВ «продуктов реакции кислорода, мочевины, ортофосфорной кислоты, метилпирролидона, диметилформамида». Однако при указанной в статье молекулярной массе полимера одна концевая группа приходится на 1000–10 000 элементарных звеньев эластомера, этого мало для достижения реального эффекта. Кроме того, указанная на концах цепи группа является продуктом дезактивации инициатора. Трудно ожидать какого-либо влияния этих групп.

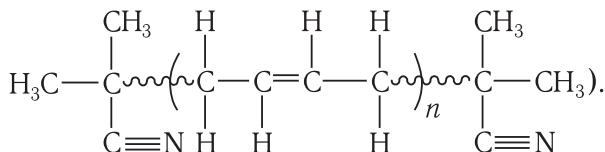
В битуме, предназначенном для приготовления асфальтобетонных смесей и последующего устройства дорожных покрытий для II дорожно-климатической зоны, необходимо увеличить пластичность, снизить температуру хрупкости и повысить сцепление с каменным материалом при сохранении на должном уровне других физико-механических свойств. В связи с этим представляет интерес использование для модификации указанных свойств битума низкомолекулярных со специально введенными концевыми функциональными группами полибутадиеновых каучуков, способных растворяться в битуме.

Цель настоящей работы — улучшение физико-механических свойств битума при его модификации низкомолекулярными полибутадиеновыми каучуками с функциональными группами на концах макромолекулярной цепи.

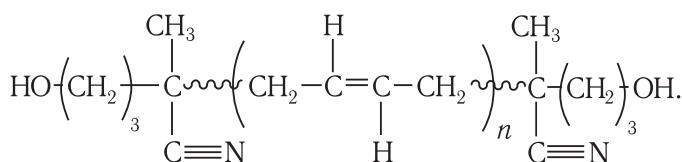
В работе использовали битум Ачинского НПЗ марки БНД 90/130 ГОСТ 22245–90, показатель растяжимости которого был ниже нормы (49 см вместо не менее 60 см).

Для улучшения структуры вяжущего и повышения сцепления битума с каменным материалом применяли олигомерные полибутадиеновые каучуки с различными функциональными группами на концах макромолекулярной цепи, синтезированные в ФГУП НИИ СК, г. Санкт-Петербург.

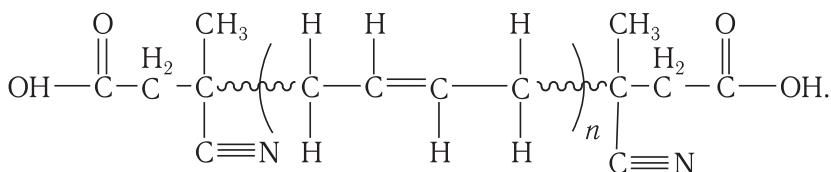
СКД-О ТУ 38.103570–84 (на концах цепи специально введенной функциональной группы нет, имеются азотсодержащие остатки инициатора нитрилобутиллития, образовавшиеся при его дезактивации мочевиной или метилпирролидоном:



Синтез олигомеров с концевыми гидроксильными группами СКД-ГТРА ТУ 38.103315–86 был также осуществлен радикальной полимеризацией с использованием 4,4'-азобис-4-цианопентанола



СКД-КТР ТУ 003393–99 с концевыми карбоксильными группами получен радикальной полимеризацией с применением в качестве инициатора 2,2'-азо-бис-4-карбокси-2-метилбутиронитрила. По сведениям [4], концевые карбоксильные группы, полученные в присутствии азонитрильных инициаторов, обладают более высокой реакционной способностью, чем в случае использования других инициаторов



Основные показатели каучуков приведены в табл. 1.

Следует отметить, что наличие гидроксильной и особенно карбоксильной функциональных групп значительно увеличивает динамическую вязкость каучука за счет межмолекулярного взаимодействия.

Модификацию битума проводили перемешиванием компонентов в металлической емкости при температуре получения асфальтобетона 160 °С в течение 30 мин якорной мешалкой со скоростью вращения 60 об/мин.

При исследовании составов исходных битумов и модифицированных вяжущих использовались стандартные методы определения:

- температуры размягчения по методу «кольцо и шар» по ГОСТ 11506–73;
- сцепления битума со щебнем по ГОСТ 12801–98;
- температуры хрупкости по Фраасу по ГОСТ 11507–78;
- растяжимости при + 25 °С в соответствии с ГОСТ 11505–75;
- пенетрации согласно ГОСТ 11502–82;

Таблица 1. Характеристика исследуемых низкомолекулярных каучуков

Показатель	Тип малокарбоксилированного полибутидана		
	СКД-0	СКД-ГТРА	СКД-КТР
Консистенция	Вязкотекучая масса		
Среднечисловая молекулярная масса M_n	3000	1700	1700
Динамическая вязкость при 25 °C Па · с, в пределах	2,4	7,5	22
Массовая доля кислородсодержащих групп, %	—	1,6	3,0
РТФ, %, молекулы:			
— нефункциональные	100	—	—
— монофункциональные	—	10–20	2–5
— бифункциональные	—	60–80	91–95
— трифункциональные и более	—	10–30	2–3
Содержание антиоксиданта ионола или диафена, мас. %	0,5–1,0	0,5–1,0	0,5–1,0

— эластичности, характеризующейся способностью модифицированного битумного вяжущего к обратимым деформациям, согласно ОДМ 218.2.003–2007 «Рекомендации по использованию полимерно-битумных вяжущих материалов на основе блок-сополимеров типа СБС при строительстве и реконструкции автомобильных дорог» (раздел «Определение эластичности ПБВ»).

Эксперимент показал, что все используемые в работе низкомолекулярные вязкие каучуки в условиях приготовления композиции ПБВ хорошо смешиваются с битумом. За время приготовления образуется полностью гомогенное ПБВ.

С целью нахождения оптимального содержания каждого типа каучуков и оценки влияния особенностей их строения на качество ПБВ определяли: температуру размягчения по «Киш»; пенетрацию при 25 °C; растяжимость и эластичность при 25 °C; температуру хрупкости по Фраасу; сцепление с поверхностью карбонатного щебня. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Анализ результатов показывает, что применение низкомолекулярных каучуков СКД-0, СКД-ГТРА (в концентрации 2–5 %) и СКД-КТР (в концентрации 2–8 %) позволяет добиться положительных результатов. Температура хрупкости, которая является одним из главных показателей для вяжущего, понижается на 6–13 °C относительно исходного битума, температура размягчения повышается на 1–9 °C, интервал пластичности расширяется на 10–21 °C и составляет 86–87 °C. Низкомолекулярные каучуки увеличивают глубину проникания иглы, причем при концентрации более 8 % битум выходит за пределы своей марки. Это ограничивает дальнейшее увеличение содержания добавок.

В качестве еще одного положительного момента можно отметить, что при увеличении растяжимости при 25 °C в достаточной мере возрастает и эластичность ПБВ. Качество сцепления исходного битума с поверхностью щебня удовлетворительное, при применении в качестве модификаторов низкомолекулярных каучуков с концевыми группами оно значительно улучшается, а в случае 5–8 %-ной концентрации СКД-КТР в ПБВ оно повышается до отличного. Следовательно, используемые

Таблица 2. Физико-механические показатели модифицированного битума

Битум	Температура, °С		Интервал пластичности, °С	Глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм	Растяжимость при 25 °С, см	Эластичность при 25 °С, %	Сцепление с поверхностью карбонатного щебня
	хрупкости	размягчения					
Исходный БНД 90 / 130	-21	45	66	108	49	8	Удовлетворительное
С добавкой СКД-0, мас. %:							
2	-28	49	77	116	62	28	Хорошее
5	-30	52	82	123	95	35	»
8	-29	54	83	138	90	34	»
11	-27	53	80	152	86	21	Удовлетворительное
С добавкой СКД-ОГТРА, мас. %							
2	-27	46	73	124	66	21	»
5	-32	47	79	136	90	32	Хорошее
8	-31	48	79	152	>100	31	»
11	-28	44	72	164	>100	19	»
С добавкой СКД-КТР, мас. %							
2	-32	48	80	112	69	28	Хорошее
5	-33	54	87	118	96	44	Отличное
8	-34	52	86	124	>100	41	»
11	-33	43	76	141	>100	24	Хорошее

в работе модификаторы позволяют добиться улучшения физико-механических свойств вяжущего.

Поскольку СКД-КТР имеет самую низкую молекулярную массу, он в большей мере пластифицирует битум. Кроме того, у СКД-КТР большее относительное содержание функциональных групп, отсюда и лучшие показатели сцепления ПБВ. Следует отметить, что в битуме в сравнительно небольших количествах присутствуют функциональные группы. По-видимому, при приготовлении ПБВ частично протекают реакции конденсации по типу реакций этерификации между $-OH$ и $-COOH$ группами как полимеров СКД-ГТРА, СКД-КТР, так и аналогичными группами битума. Наличие на концах цепи нитрильной группы — осколка инициатора также может благоприятно воздействовать на свойства полимербитумной композиции. Нитрильные группы чрезвычайно активны в процессах упрочнения структуры вяжущего и проявляют свойства функциональных групп катионактивных ПАВ.

Для сравнения при получении модифицированного вяжущего использовали атактический полипропилен ПО «Нефтехимический комбинат», г. Томск, который в отдельных случаях успешно применяется в дорожном строительстве в качестве модификатора битума. Атактический полипропилен (АПП) — побочный продукт при производстве изотактического полипропилена и в небольших количествах хорошо совмещается с битумом.

Как следует из нормативных документов, введение в битум АПП в количестве 1–5 % приводит к улучшению свойств битума. Для испытаний было приготовлено ПБВ, содержащее АПП в количестве 2,5 %, а также 5,0 % (с адгезионной добавкой Wetfix — 0,5 % и без нее). Результаты испытаний, приведенные в табл. 3, показали, что применение АПП оказывает положительное влияние на свойства вяжущего: повышается его теплостойкость, характеризуемая температурой размягчения (при концентрации АПП 5 % наблюдается увеличение температуры размягчения на 11–14 °C), улучшаются адгезионные свойства вяжущего. Качество сцепления с поверхностью щебня при введении в состав АПП дополнительно адгезионной добавки Wetfix 0,5 % повышается до отлич-

Таблица 3. Результаты испытаний исходного битума и ПБВ на основе битума и АПП

Характеристика	Исходный битум БНД 90/130	Модифицированное вяжущее, компоненты		
		Битум + АПП (5 %)	Битум + АПП (5 %) + Wetfix (0,5 %)	Битум + АПП (2,5 %)
Температура хрупкости, °C	–21	–24	–26	–23
Температура размягчения, °C	45	62	59	52
Интервал пластичности, °C:	66	86	85	75
Глубина проникания иглы при 25 °C, 0,1 мм	108	74	77	82
Растяжимость при 25 °C, см	49	32	34	36
Качество сцепления с поверхностью карбонатного щебня	Удовлетворительное	Хорошее	Отличное	Хорошее

ного. Однако АПП в меньшей мере, чем использованные добавки, снижают температуру хрупкости ($4\text{--}5^{\circ}\text{C}$). При добавлении АПП значительно уменьшается пенетрация, при этом изменяется марка битума, что нежелательно. Крайне негативно сказывается применение АПП и на растяжимости ПБВ, значение данного показателя уменьшается на 35 % при концентрации модификатора 5 %. В целом же положительное влияние АПП на свойства вяжущего уступает эффекту от применения низкомолекулярных каучуков, используемых в работе.

Выводы. 1. Низкомолекулярные полибутадиеновые каучуки, имеющие на концах макромолекулярной цепи осколки инициатора — нитрильную группу, а также дополнительно к ней специально введенные функциональные группы: гидроксильную (СКД-ГТРА), карбоксильную (СКД-КТР), полностью растворяются в битуме с образованием однородной массы.

2. Применение низкомолекулярных каучуков СКД-0, СКД-ГТРА (в концентрации 2–5 %) и СКД-КТР (в концентрации 2–8 %) позволяет в значительной мере улучшить физико-механические свойства полимербитумного вяжущего.

3. По эффективности действия на качество получаемого ПБВ низкомолекулярные полибутадиеновые каучуки с концевыми функциональными группами превосходят применяемый для модификации свойств битума атактический полипропилен.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гохман, Л.М. Повышение эффективности применения полимерно-битумных вяжущих на основе блоксополимеров типа СБС [Текст] / Л.М. Гохман, Е.М. Гуарий, А.Р. Давыдова, К.И. Давыдова, О.В. Гавриленко, Т.В. Прокофьев // Автомобильные дороги. — 2007. — № 36. — С. 63–64.
2. Киселёв, В.П. Оценка адгезионных и когезионных свойств модифицированных дорожных битумов [Текст] / В.П. Киселёв, А.А. Ефремов, М.Б. Бугаенко и др. // Вестн. Том. гос. архитектурно-строит. ун-та. — 2010. — № 4. — С. 129–138.
3. Сиринько, С. Композиция успеха. Опыт применения полимерного поверхностно-активного вещества (ПАВ) «Мобит» при устройстве асфальтобетонного покрытия на автомагистрали М-; «Дон» [Текст] // Автомобильные дороги. — 2006. — № 11. — С. 79–81.
4. Курбанова, Н.И. Композиционные материалы на основе модифицированного бутадиенстирольного каучука [Текст] / Н.И. Курбанова, А.М. Кулиев // Журн. прикл. химии. — 2007. — Т. 80, № 7. — С. 1156–1159.

КИСЕЛЕВ Владимир Петрович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: Wkiselev001@yandex.ru
Политехнический институт Сибирского федерального университета, г. Красноярск

ШЕВЧЕНКО Валентина Аркадьевна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: kafsmi@mail.ru

Инженерно-строительный институт Сибирского федерального университета, г. Красноярск

ВАСИЛОВСКАЯ Галина Васильевна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: vasgv21n@mail.ru
Инженерно-строительный институт Сибирского федерального университета, г. Красноярск

ИВАНОВА Людмила Алексеевна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: Lusya54@yandex.ru
Инженерно-строительный институт Сибирского федерального университета, г. Красноярск

ВОРОНЧИХИН Василий Дмитриевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: vvd-77@mail.ru
Сибирский государственный технологический университет, г. Красноярск

Получено после доработки 22.04.15

Kiselev Vladimir Petrovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: Wkiselev001@yandex.ru, Polytechnic Institute Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Shevchenko Valentina Arkadievna, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: kafsmi@mail.ru, Civil Engineering Institute Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Vasilovskaya Galina Vasilievna, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: vasgv21n@mail.ru, Civil Engineering Institute Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Ivanova Ludmila Alekseevna, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: Lusya54@yandex.ru, Civil Engineering Institute Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Vorontchikhin Vasiliy Dmitrievich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: vvd-77@mail.ru, Siberian State Technological University, Krasnoyarsk, Russia

THE PROPERTIES MODIFICATION OF PETROLEUM ROAD ASPHALT

At the present time the modified bitumen is proposed to use it to increase the reliability and the level of durability of the road surfaces. In connection with it the search of modifying agents is an urgent task. For the first time the low molecular unvulcanized rubbers with functional groups at the ends of the macromolecular chain are considered as modifying agents having obtained polymer asphaltic binders. In order to determine the optimal content of each of the studied rubbers and impact assessments of their structure features on the quality of the polymer asphaltic binders which determined the following: melting point is by Ring and Ball; penetration is at 25 °C; brittleness temperature is at 25 °C by Fraas. The use of low molecular rubbers SKD-0, SKD-GTRA (at the concentration of 2–5 %) and SKD-KTR (at the concentration of 2–8 %) it let largely to improve the physical and mechanical properties of the polymer asphaltic binders.

Key words: bitumen, modifiers, low molecular polybutadiene rubbers, terminal functional groups.

REFERENCES

1. Gohman, L.M. Efficiency increase of the use polymer bituminous binders on the basis of blockcopolymers which type is SBS [Text] / L.M. Gohman, E.M. Gurarii, A.R. Davidova, K.I. Davidova, O.V. Gavrilenko, T.V. Prokofiev // Automobile roads. — 2007. — N 36. — P. 63–64.
2. Kiselev, V.P. The assessment of adhesions and cohesions properties of the road asphalt bitumens [Text] / V.P. Kiselev, A.A. Efremov, M.B. Bugaenko and others // Herald of Tomsk State Architectural and Construction University. — 2010. — N 4. — P. 129–138.
3. Sirinko, S. The composition of the success. The experience of usage of polymer surface active substance (PSAS) «MOBIT» at the device of asphalt surface on the highways M-; «DON» [Text] // Automobile roads. — 2006. — N 11. — P. 79–81.
4. Kurbanova, N.I. The composite materials on the basis of the modified butadiene-styrene rubber [Text] / N.I. Kurbanova, A.M. Kuliev // The journal of the applied chemistry. — 2007. — Vol. 80, N 7. — P. 1156–1159.

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 728.2.011.27

П.П. СЕМИКИН, Т.П. БАЦУНОВА, П.В. СЕМИКИН

МОДУЛЬНОСТЬ В АРХИТЕКТУРЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Рассматриваются предпосылки появления и особенности архитектуры модульных высотных зданий. Проанализированы позитивные и негативные аспекты данного типа объектов. Приведены примеры проектов, иллюстрирующих применение отдельных модулей.

Ключевые слова: высотные здания, архитектура, объемно-пространственные решения, модульность, перспектива, структура, открытые системы.

1. Актуальность высотных модульных зданий. С момента возведения первого здания, в процессе его эксплуатации, возникла потребность в изменении функционального решения, геометрических размеров объекта. Частично проблему решала реконструкция и надстройка здания, в большинстве случаев требовалась масштабная реновация или полный демонтаж сооружения.

С течением времени совершенствовались методы возведения, были открыты современные строительные материалы и технологии, однако, обозначенная проблема не была решена. Ее актуальность обостряется постоянно увеличивающейся плотностью застройки городов. Одной из форм освоения городских территорий стали высотные здания [1]. Это обусловлено небольшой площадью застройки при значительной величине полезных площадей. Высотные здания в силу своего масштаба, крупных финансовых издержек при эксплуатации особенно остро «переживают» свой моральный и физический износ. Небоскреб «Эмпайр Стейт Билдинг» («Empire State Building») был построен в 1931 г. С того времени он не раз реставрировался и модернизировался, но к 2010 г. стало очевидным его несоответствие современным стандартам комфорта и безопасности. Это высотное здание — один из символов Нью-Йорка и США в целом. Поэтому было выделено 500 млн долларов для обновления здания, в результате чего объекту был присвоен золотой сертификат LEED. Это позволило повысить привлекательность здания для арендаторов, фактически дать ему «вторую жизнь». LEED (The Leadership in Energy & Environmental Design) — это рейтинговая система для измерения энергоэффективности и экологичности проектов и зданий [2].

Приведенный пример — эксклюзивный случай, подобное решение неприменимо к каждому высотному зданию, в связи с их увеличивающимся количеством и высокими финансовыми издержками для прохождения оценки по стандарту. Тем не менее, данный тип объектов возводится уже более 100 лет, а с 2000-х гг. показатель высотности неуклонно

увеличивается год от года. Согласно статистике Совета по высотным зданиям и городской среде (CTBUH) количество зданий выше 150 м во всем мире составляет более 3700 построек [3]. Вследствие этого, проблема преобразования высотного объекта (функционального, объемно-планировочного решений) во время эксплуатации приобретает особую актуальность.

2. Позитивные аспекты применения модульной архитектуры. Сегодня в высотном строительстве существует два наиболее распространенных подхода к организации планировочного решения: изначальное создание планировочного решения под конкретных арендаторов и проектирование объектов со свободной планировкой. В 2010 г. появляются проекты высотных зданий для разных городов мира (Мехико, Нью-Йорк и т.д.), главной особенностью которых была модульность. Высотный объект состоит из блоков определенных размеров и форм. Их масштаб может быть различен: как отдельная мелкая единица (жилой, общественный модуль), так и крупный элемент — объемно-планировочный блок, включающий в себя несколько этажей. Подобный принцип позволяет более гибко подходить к вопросу функционального наполнения здания и повышает вариативность его объемно-планировочного решения. Например, если в процессе эксплуатации высотного здания возникает необходимость в увеличении жилых площадей, это осуществляется за счет добавления в структуру объекта нужных модулей. Подобным образом решается вопрос нехватки энергетических мощностей — внедрение локальных энергостанций, работающих на возобновляемых источниках энергии. С учетом того, что современные высотные здания по сути своей — вертикальные города, то направленность внедренных модулей может быть весьма разнообразной: от офисной функции до спортивно-оздоровительной (велнес-центры) и даже религиозной. Основное отличие от полносборного и крупноблочного строительства, активно применяемого во времена СССР, состоит в том, что модули встраиваются по мере необходимости, отсутствует задача максимально быстрого возведения объекта, геометрические размеры каждого из них в некоторой степени могут отличаться от смежных блоков для размещения необходимой функции и создания активного архитектурного облика.

Таким образом, подобный подход позволяет проектировать высотные здания с динамической структурой, своевременно «реагирующей» на изменение ситуации на рынке в целом и потребностей людей в частности.

3. Ограничения модульной архитектуры. Следует отметить, что для практической реализации идеи существует ряд ограничений:

1. *Расчетная нагрузка на фундамент и конструктивный каркас.* При увеличении числа модулей соответственно повысится нагрузка на фундамент объекта. На стадии проектирования необходимо предусматривать достаточный запас прочности.

2. *Ограничения строительных материалов.* Не разработаны материалы, необходимые для реализации идеи модульности, это должны быть композиты, меняющие свои физико-химические свойства в широком диапазоне. К примеру, сегодня невозможно создание консолей с выносом более 15 м или проектирование крупных объектов в форме перевернутой пирамиды.

3. *Ограничения инженерных коммуникаций.* Построенные высотные здания вплотную подошли к показателям максимальной высоты (~1–1,5 км) и общей площади (~500 тыс. м²). Существующие инженер-

ные системы не способны доставить воду на высоту более 2 км. Каждое высотное здание разбивается на отдельные инженерные «блоки» или «секции» (по 10–20 этажей) для обеспечения кондиционирования и вентиляции воздуха, чем объект крупнее, тем в итоге сложнее будет система. Очевидно, что подобные ограничения усугубятся в динамически развивающихся зданиях, так как помимо вышеописанных проблем к ним добавится задача подключения к общей системе вертикальных коммуникаций новых стыкуемых блоков.

4. *Климатические условия.* В построенных объектах высотой более 600 м наблюдается ухудшение видимости за счет слоя нижних облачков (в том числе техногенного происхождения). Кроме того, возникают другие негативные для объекта климатические явления: конденсация влаги на фасаде с возможным последующим оледенением, повышение вероятности попадания в здание молний, увеличенная ветровая нагрузка и т.д.

5. *Градостроительная проблема.* При внедрении в структуру высотных зданий дополнительных модулей потребуется увеличение количества парковочных мест. Необходимо строительство дорог с большой пропускной способностью, а также в случае с жилыми блоками — расширение придомовых площадок и прилегающих зеленых территорий. Возможным вариантом решения является возвведение объекта на значительном по площади участке. В тех случаях, когда подобный подход труднореализуем, рациональным выходом может служить система вертикального озеленения, которая будет увеличивать психологический комфорт у жителей и посетителей объекта.

Описанные проблемы находятся в стадии решения. Существуют отдельные экспериментальные разработки по каждой из этих тем. Проектируемые высотные здания могут быть рассмотрены как открытая система с бесконечным потенциалом роста или как сценарий продуманного развития объекта с высокой долей вариативности.

4. Проекты модульных высотных зданий. Среди существующих примеров можно выделить следующие объекты:

1. «Небесная деревня Бангагу» (названа как одноименный район в Сиднее). Австралийский архитектор Джосефина Тернер предложила небоскреб-комплекс, состоящий из треугольных блоков, которые повернуты друг относительно друга для смягчения геометрической формы здания. Треугольники позволяют лучше распределить вес здания, сделать конструкцию более устойчивой и рационально организовать планировочные решения. Архитектор использовала «паучьи сочленения», чтобы получить формы различных размеров. Башни комплекса соединены мостами, расположенными на разной высоте (рис. 1). Сельскохозяйственные уровни предусмотрены во всех зданиях комплекса и находятся между жилыми и коммерческими этажами. Электроэнергию зданию обеспечивают встроенные солнечные и ветроэлектростанции, расположенные в разных частях объекта [4].

2. «Фабрика свежей воды». Одной из самых больших проблем, вставших перед человечеством, уже сейчас является недостаток воды. Практически все выращиваемые овощи и фрукты, кроме благоприятного теплого климата и плодородной почвы, нуждаются в обильном поливе. Одним из вариантов, позволяющим в обозримом будущем справиться с недостатком пресной воды, может стать строительство специальных опреснителей. Весьма необычный проект предложила французская

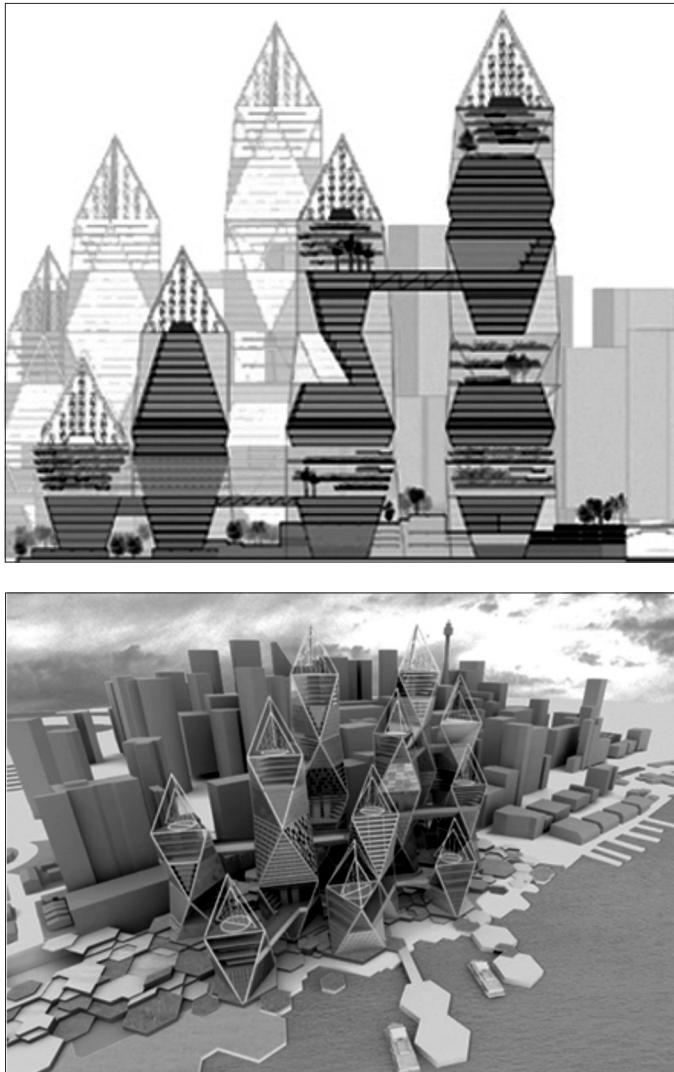


Рис. 1. Разрез и общий вид высотного комплекса «Небесная деревня Бангару»

архитектурная компания «Design Crew for Architecture». Спроектированная башня предполагает построение по принципу биологического опреснения соленой воды. Ключевую роль в цепочке изменения статуса H_2O играет мангровая пальма. Конструкция представляет собой набор шарообразных прозрачных модулей (рис. 2). Внешне строение походит на пузырьки воздуха, которые всплывают из воды на поверхность. Соленая вода по специальным трубам подается на верх здания, оттуда она стекает вниз, в специальные пузыри, в которых посажены мангровые пальмы. Переработанная растениями влага испаряется и конденсируется на стенах прозрачных пузырей, откуда, стекая, собирается в специальных резервуарах [5].

Формой здания может стать виноградная гроздь, возможно, перевернутая. Каждая «виноградинка» в таком случае отдельный модуль. Их размеры, характеристики и функции могут отличаться. С архитектурной



Рис. 2. Общий вид и принципы организации высотного здания «Фабрика пресной воды»

точки зрения подобный модульный подход несет положительные аспекты: создание изменчивой композиции объекта, реализация масштабных самоорганизующихся структур, домов-фракталов и т.д.

5. Заключение. В настоящее время не существует построенных модульных высотных зданий. Однако увеличивающееся количество подобных проектов, отвечающих изменяющимся требованиям современной городской среды, свидетельствует о востребованности подобного вида объектов. Накопленный опыт проектирования, строительства и эксплуатации высотных зданий, а также решение обозначенного перечня проблем, способны ускорить появление модульных структур. «Классические» высотные здания практически полностью реализовали собственный потенциал, оставаясь при этом выгодными для инвесторов и потребителей. Модульные высотные здания могут стать эффективным и эффектным решением части современных социально-экономических проблем: увеличение численности населения, безработица, нехватка энергетических мощностей, моральный износ зданий, отсутствие возможности преобразования существующего объекта в соответствии с конкретными целями и задачами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семикин, П.П. Особенности объемно-пространственных решений высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии [Текст] / П.П. Семикин, Т.П. Бацуно娃 // Изв. вузов. Строительство. — 2015. — № 1. — С. 69–76.
2. Эмпайр Стейт Билдинг (Empire State Building) признан одним из самых энергоэффективных и экологически чистых сооружений в США // Башни : Сайт о небоскребах и самых высоких сооружениях. 2013. — URL: <http://bashni.info/empajr-stejt-bilding-empire-state-building-priznan-odnim-iz-samyh-energoeffektivnyh-i-ekolo-gicheskikh-chistyh-sooruzhenij-v-ssha> (дата обращения: 15.03.2015).

3. The Skyscraper Center. The Global Tall Building Database of the CTBUH. Buildings 150 m+ in height // Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Chicago, 2015. — URL: <http://www.skyscrapercenter.com/x/323245> (дата обращения: 15.03.2015).
4. Bangaroo Sky Village Rethinks Living High in the Sydney Sky // eVolo. Architecture Magazine. 2010. — URL: <http://www.evolo.us/architecture/bangaroo-sky-village-rethinks-living-high-in-the-sydney-sky/> (дата обращения: 15.03.2015).
5. Freshwater Factory Skyscraper // eVolo. Architecture Magazine. 2010. — URL: <http://www.evolo.us/competition/freshwater-factory-skyscraper/> (дата обращения: 15.03.2015).

СЕМИКИН Павел Павлович, канд. архитектуры, вед. науч. сотр.; E-mail: litodano@gmail.com

ОАО «Центральный научно-исследовательский и проектный институт жилых и общественных зданий (ЦНИИЭП жилища)», г. Москва

БАЦУНОВА Татьяна Павловна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: litodano@mail.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

СЕМИКИН Павел Владимирович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: litodano@mail.ru

Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия

Получено 03.04.15

Semikin Pavel Pavlovich, candidate of architecture, head scientist; E-mail: litodano@gmail.com, Joint Stock Company Central Research and Design Institute for Residential and Public Buildings, Moscow, Russia

Batsunova Tatiana Pavlovna, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: litodano@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Semikin Pavel Vladimirovich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: litodano@mail.ru, Novosibirsk State Academy of Architecture and Arts, Russia

PERSPECTIVE OF DEVELOPMENT ARCHITECTURE OF THE MODULAR TALL BUILDINGS

Considered preconditions of appearance and features of the modular architecture of tall buildings. Analyzed the positive and negative aspects of this type of objects. The article shows examples of projects that illustrate the use of the individual modules in the structure.

Key words: tall buildings, architecture, volumetric-spatial solutions, modularity, perspective, structure, open systems.

REFERENCES

1. Semikin, P.P. Features of volumetric-spatial solutions of high-rise buildings with renewable energy sources [Text] / P.P. Semikin, T.P. Batsunova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2015. — N 1. — P. 69–76.
2. Empire State Building is recognized as one of the most energy efficient and environmentally friendly plants in the USA // Towers. The site of the skyscrapers and the tallest buildings. 2013. — URL: <http://bashni.info/empajr-stejt-bilding-empire-state-building-priznan-odnim-iz-samyh-energoeffektivnyh-i-ekologicheski-chistyh-sooruzhenij-v-ssha> (date of access: 15.03.2015).
3. The Skyscraper Center. The Global Tall Building Database of the CTBUH. Buildings 150 m+ in height // Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Chicago, 2015. — URL: <http://www.skyscrapercenter.com/x/323245> (date of access: 15.03.2015).
4. Bangaroo Sky Village Rethinks Living High in the Sydney Sky // eVolo. Architecture Magazine. 2010. — URL: <http://www.evolo.us/architecture/bangaroo-sky-village-rethinks-living-high-in-the-sydney-sky/> (date of access: 15.03.2015).
5. Freshwater Factory Skyscraper // eVolo. Architecture Magazine. 2010. — URL: <http://www.evolo.us/competition/freshwater-factory-skyscraper/> (date of access: 15.03.2015).

УДК 72.04.03:725.4(470.43)

Е.М. БАЛЬЗАННИКОВА, В.А. САМОГОРОВ

АРХИТЕКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ САМАРСКОЙ ГУБЕРНИИ КОНЦА XIX — НАЧАЛА XX в.

В статье рассмотрены уникальные промышленные объекты деревянного и каменного зодчества, построенные в Самарской губернии на рубеже XIX–XX вв. и сохранившиеся до наших дней. Выявлены характерные архитектурные особенности зданий предприятий. Определено, что для промышленных объектов данного временного периода характерно применение красного кирпича, а в оформлении фасадов — арочных оконных проемов, декоративных деталей малой рельефности и зубчатых карнизов. В результате сделан вывод о принадлежности этих объектов к кирпичному «русскому стилю».

Ключевые слова: промышленные объекты, архитектурные особенности, кирпичный «русский стиль».

На рубеже XIX–XX вв. в Самарской губернии, как и по всей России, наблюдался бурный рост промышленного производства. Строились мельницы, пивоваренные и кирпичные заводы, сооружались винокуренные и кожевенные предприятия [1–4]. В Самаре промышленное производство занимало незастроенные территории, преимущественно по берегам рек Волги и Самары, формируя архитектурный облик города [5–7].

В исследованиях исторических аспектов формирования и эволюции территории Самары большое значение отводится анализу влияния индустриальных объектов на развитие градостроительного каркаса и инфраструктуры города [8–11]. При этом особенностям архитектурных решений уделено недостаточное внимание. В связи с этим актуальным направлением дальнейшего изучения историко-культурного наследия Самары и Самарской губернии представляется выявление характерных архитектурно-стилистических особенностей промышленных сооружений рассматриваемого периода.

Многие предприятия Самары конца XIX — начала XX в. сохранились до наших дней и представляют собой уникальные по своей архитектуре историко-культурные объекты. Некоторые из них не утратили первоначальное назначение и исправно функционируют, как в былые времена. Среди многообразия индустриального производства в Самарской губернии ярко выделялись предприятия мукомольной промышленности. В те времена Поволжье превратилось в крупный центр хлебной торговли и главного поставщика зерновых культур на российский и мировой рынок. К началу XX в. только в г. Самара насчитывалось около 60 ветряных мельниц. Активное строительство мельниц велось на всей территории губернии.

Одна из таких мельниц существует в с. Бариновка Нефтегорского района. Этот памятник деревянного зодчества был построен в XIX в., а точнее в 1848 г., как гласит надпись на самом сооружении, графом Вла-

димиром де ла Фит Пельпором, более известным как Пётр Артамов. По своей конструкции мельница является шатровой. Именно шатровые мельницы в то время были распространены в Поволжье.

Ветряная мельница в Бариновке представляет собой усеченный шестигранный сруб. Высота мельницы составляет 15 м, ширина основания — 12 м. Нижняя часть мельницы неподвижна, а верхняя, вместе с крыльями, поворачивается на ветер с помощью дышла — «водила», которое располагается с обратной стороны мельницы. Внутри сооружения частично сохранился механизм — вертикальный вал диаметром 1 м, пронизывающий центр мельницы от основания до крыши. На него крепились четыре лопасти мельницы длиной по 8 м каждая. В настоящий момент есть лишь одна лопасть. Около вертикального вала осталась рама из бревенчатого бруса, на которой располагались жернова. Они были привезены с Урала и частично из Франции специально для этой мельницы, так как жернова из местного известняка были мягкие и не давали муку необходимого качества. Рама мельницы вмещала три блока жерновов, из которых сегодня сохранились только два. На мельнице производили белую муку мелкого помола, которая отличалась высоким качеством и славилась по всей округе.

Крыша мельницы покрыта деревянным тесом. В качестве декоративной отделки применена пропильная деревянная резьба, которая оформляет карниз и является особенностью архитектурного решения. Недалеко от мельницы располагаются два элеватора, тем самым образуя целый мукомольный комплекс по переработке и хранению зерна.

Ветряная мельница работала до 1984 г. от ветра, а с 1960-х гг. — от электричества. В настоящее время ветряная мельница в с. Бариновка в соответствии с решением Куйбышевского облисполкома от 31.10.79 г. № 724 признана памятником архитектуры регионального значения и числится в списке объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) федерального и регионального значения, расположенных на территории Самарской области. К сожалению, реставрационные работы не проводились на ней многие годы, и сейчас мельница находится в полуразрушенном состоянии.

Помимо ветряных мельниц к началу XX в. в Самарской губернии стали появляться паровые механические мельницы. Среди сохранившихся предприятий можно выделить несколько уникальных заводов, сформировавших в те времена неповторимый облик Самары и сыгравших важную роль в индустриальном становлении города и губернии.

Один из таких уникальных промышленных объектов Самарской губернии — паровая мельница купца-хлеботорговца Малюшкина, построенная в 1890 г. в с. Екатериновка Бузенчукского района. Мельница расположилась на берегу реки и представляла собой 5-этажное здание с крупными оконными проемами, построенное из красного кирпича. Архитектурной особенностью мельницы является ее конструктивное решение — центральный корпус перекрыт арочным сводом. Главное здание дополняют 2- и 3-этажные пристройки. На мельнице перерабатывались большие партии зерна, а затем десятки тысяч пудов муки отправлялись вверх по Волге. Общий вид здания представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид мукомольного комплекса в с. Екатериновка (фото авторов)

Во время Великой Отечественной войны на основании приказа Наркомата текстильной промышленности СССР из г. Карабач Брянской области в здание мельницы была эвакуирована фабрика крученых изделий. В октябре 1942 г. предприятие приступило к работе. Фабрика крученых изделий обеспечивала канатами и веревками несколько регионов, а работой — четверть сельского населения. После распада СССР фабрика прекратила свое существование, а последний собственник распродал все имущество бывшей мельницы. Сегодня заводской комплекс пребывает в заброшенном и, как следствие, неудовлетворительном состоянии. Однако постановлением от 29.07.2014 г. № 433 механическая мельница по адресу: Самарская область, Безенчукский район, с. Екатериновка, ул. Фабричная, д. 2, включена в единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации в качестве объекта культурного наследия регионального значения.

В исторической части г. Самара также расположены уникальные промышленные предприятия мукомольной отрасли. Один из них — мукомольный завод № 1. Он находится на берегу р. Самара, недалеко от ее слияния с р. Волгой. Общий вид предприятия приведен на рис. 2.

Комплекс был построен иведен в эксплуатацию в 1906 г. «Товариществом Я.Г. и И.Я. Соколовых» всего за 21 месяц. В те времена это была самая большая паровая мельница в губернии: за год перерабатывалось до 3,5 млн пудов зерна. Мука выпускалась высокого качества и пользовалась большим спросом в городе и за его пределами [12].

Место строительства было выбрано не случайно. Близость реки облегчала доставку зерна и сбыт муки. Помимо водной транспортировки, продукцию отправляли и по железной дороге, ветку которой специально для этого завели на территорию завода. Комплекс по площади занимает целый квартал.

Главный 6-этажный производственный корпус выполнен из красного кирпича. Оконные проемы здания имеют арочные очертания, с выдвинутыми за фасадную плоскость малорельефными арочными завершениями

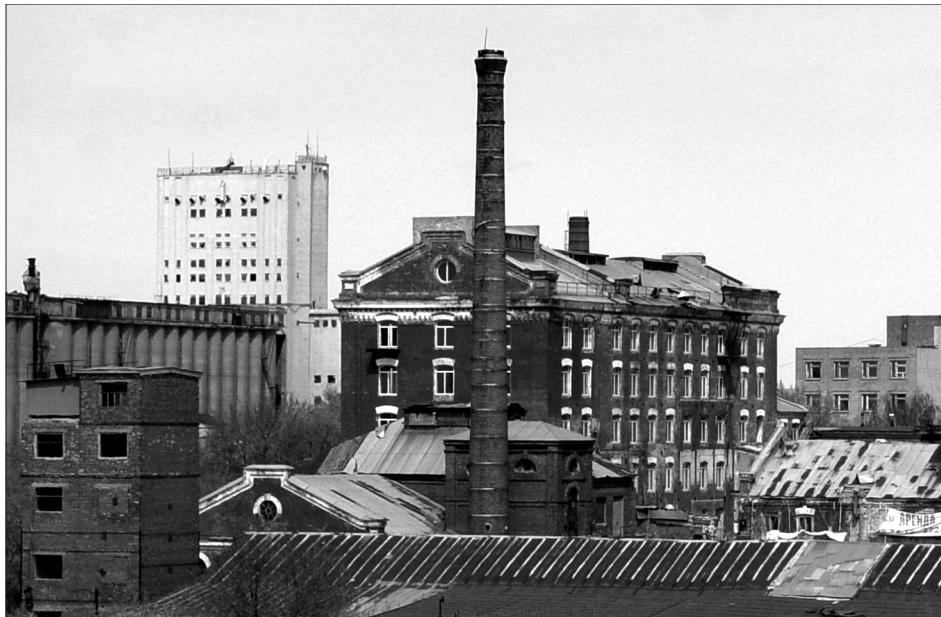


Рис. 2. Мукомольный завод №1 в Самаре, бывшая мельница Соколовых (фото авторов)

из кирпича. Здание завершается зубчатым карнизом. Эти приемы были характерны для архитектуры рассматриваемого исторического периода. Корпус служит главной градостроительной доминантой ул. Водников.

В 2009 г. корпус хлебного амбара использовали в качестве выставочного центра на Первом самарском фестивале искусств «АРТПОЛИС». Остальные здания не функционируют и не эксплуатируются. В наши дни комплекс бывшей мельницы Соколовых сохранился почти в первозданном виде, но находится в неудовлетворительном состоянии и требует срочной реставрации. С 2008 г. производственное здание мельницы признано памятником архитектуры регионального значения.

Уникальным объектом промышленной архитектуры в г. Самара является бывшая мельница купцов Стройкова и Якимова, расположенная в историческом центре города по адресу: ул. Водников, 52-54. 4-этажное здание мельницы было построено в 1903 г. по проекту известного самарского архитектора А.А. Щербачева. Оно смешено в глубь квартала относительно красной линии застройки. Самарская крупчатка, производимая на мельнице, славилась высоким качеством и высоко ценилась на мировом рынке.

Главное здание мельничного комплекса выполнено из красного кирпича и декорировано зубчатым карнизом и небольшими башенками. На фасаде мельницы применены арочные оконные проемы, горизонтальные тяги, архивольты с замковыми камнями, пилястры. Все эти элементы традиционны для популярного в те времена кирпичного «русского стиля».

За сто с небольшим лет мельница претерпела некоторые изменения. До начала 2000-х гг. ее здания использовались по первоначальному назначению — здесь располагался цех мукомольного завода №3 по производству обдирной ржаной муки. С 1987 г. здание стало объектом культурного наследия регионального значения (рис. 3).



Рис. 3. Здание бывшей мельницы Стройкова–Якимова (фото авторов)

Превращению Самарской губернии в крупный промышленный центр России способствовало развитие и других индустриальных отраслей.

К уникальным памятникам промышленной архитектуры Самарской губернии начала XX в. можно отнести несколько заводов винокуренной отрасли. Одним из них является спиртзавод в с. Новый Буян Красноярского района. Завод был построен в 1901 г. помещиком А.К. Ушковым на возвышенной местности, недалеко от пруда. Завод занимался производством этилового спирта из сброшенных материалов. Его продукция славилась по всей России и экспорттировалась в страны дальнего зарубежья.

Основные здания спиртзавода построены из красного кирпича. Симметрично-осевую композицию фасада главного корпуса подчеркивают вертикальные колонны. Здания имеют оконные проемы арочных очертаний и завершаются зубчатым карнизом. Архитектура завода решена в традициях кирпичного «русского стиля». На фасаде главного здания высечены годы: 1791–1901 — это период функционирования в с. Новый Буян первого винокуренного завода. К началу XX в. здания его обветшали, поэтому было принято решение построить новый спирт завод, который работает и сегодня. В 1990-е гг. на территории спиртзавода произошли изменения, а именно были сооружены современные очистные сооружения. Здания комплекса спиртзавода находятся в хорошем состоянии и придают селу неповторимый облик.

Комплекс спиртзавода по решению Министерства культуры Самарской области от 27.07.2009 г. входит в список выявленных объектов культурного наследия, расположенных на территории Самарской области.

В с. Рождествено Волжского района существует еще один уникальный по архитектуре промышленный комплекс — спирт завод. Первоначально завод назывался винокуренным и являлся центром хозяйства в имении купца К.К. Ушкова. Спирт завод был построен в 1896 г., что под-

тверждает надпись на дымовой трубе комплекса. Из материалов архива известно, что строительство завода производилось варшавской фирмой «Борман Шведе». На предприятии было установлено самое высокопроизводительное по тем временам оборудование, благодаря которому спиртзавод быстро занял лидирующие позиции по качеству продукции в Самарской губернии. Оборудование позволяло выпускать до 900 декалитров ректифицированного спирта в год. Продукция изготавливалась преимущественно из зерна, реже перерабатывался картофель.

На территории завода сохранилось много зданий производственного и складского назначения. Главное производственное здание является прекрасным образцом промышленной архитектуры конца XIX — начала XX вв. Архитектурные детали завода отличаются высоким качеством. Кроме основного здания на территории остались корпуса солодовни, водокачки, ректификационного отделения, спиртовой подвал. Основной вид заводских корпусов представлен на рис. 4.



Рис. 4. Главное здание спиртзавода в с. Рождествено (фото авторов)

Здания спиртзавода находятся в хорошем состоянии и продолжают функционировать. По решению Министерства культуры Самарской области от 27.07.2009 г. спирт завод входит в список выявленных объектов культурного наследия, расположенных на территории Самарской области.

Исследование показало, что в Самаре и Самарской губернии сохранились промышленные предприятия рубежа XIX и XX вв., архитектура которых отражает особенности кирпичного «русского стиля».

Выводы. 1. Из-за развития производства, связанного с переработкой сельскохозяйственной продукции, в Самарской губернии с середины XIX в. активно стали возводиться промышленные здания из красного глиняного кирпича. В дальнейшем этот материал получил широкое распространение в регионе и обусловил хорошую сохранность объектов.

2. Архитектурными особенностями промышленных предприятий Самарской губернии конца XIX в. стали следующие архитектурно-композиционные приемы: симметрично-осевая композиция фасадов, применение красного кирпича, декоративные детали малой рельефности, оконные проемы арочных очертаний, горизонтальные тяги и зубчатые карнизы. Они составляли основу популярного в те времена в Поволжье кирпично-го «русского стиля».

3. Выявленные архитектурные особенности промышленных предприятий Самарской губернии отражают общие тенденции в развитии промышленной архитектуры и кирпичного «русского стиля», получившего распространение в Поволжье и России в целом на рубеже XIX–XX вв.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бальзанникова, Е.М. Градостроительное формирование Самары и развитие промышленности города в конце XIX — начале XX в. [Текст] / Е.М. Бальзанникова // Вестн. СГАСУ. Градостроительство и архитектура. — 2011. — № 1. — С. 44–48.
2. Бальзанникова, Е.М. История развития предприятий мукомольной промышленности в Самаре в конце XIX — начале XX веков [Текст] / Е.М. Бальзанникова // Вестн. СГАСУ. Градостроительство и архитектура. — 2012. — № 3. — С. 6–10.
3. Бальзанникова, Е.М. Сохранение городских объектов историко-архитектурного наследия [Текст] / Е.М. Бальзанникова // Вестн. МГСУ. — 2014. — № 1. — С. 15–24.
4. Бальзанникова, Е.М. Влияние рек на формирование промышленных территорий города Самары [Текст] / Е.М. Бальзанникова // Научное обозрение. — 2014. — № 6. — С. 49–55.
5. Самогоров, В.А. Особенности морфологии пространства и застройки исторических кварталов г. Самары [Текст] / В.А. Самогоров, О.С. Рыбачева, А.В. Фадеев // Науч. обозрение. — 2015. — № 4. — С. 191–198.
6. Вавилонская, Т.В. Сохранение и обновление архитектурно-исторической среды Самарского Поволжья [Текст] / Т.В. Вавилонская // Архитектура и строительство России. — 2014. — № 12. — С. 2–9.
7. Самогоров, В.А. Деревянная и каменно-деревянная архитектура Самары конца XIX — начала XX веков [Текст] / В.А. Самогоров, Е.А. Сысоева, Ю.Д. Черная. — Самара : Книга, 2011. — 400 с.
8. Синельник, А.К. История градостроительства и заселения Самарского края [Текст] / А.К. Синельник. — Самара : Изд. дом «Агни», 2003. — 228 с.
9. Вавилонская, Т.В. Особенности исследования исторических регионов с позиций своеобразия архитектурно-исторической среды (на примере среднего Поволжья) [Текст] / Т.В. Вавилонская, В.В. Алексеев // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: Материалы 71-й Всерос. науч.-техн. конф. — Самара : СГАСУ, 2014. — С. 537–538.
10. Литвинов, Д.В. Транспортный каркас в прибрежной зоне крупных городов Поволжья [Текст] / Д.В. Литвинов // Современное общество, образование и наука: Сб. науч. тр. конф. — Тамбов, 2012. — С. 80–81.
11. Синельник, А.К. Архитектура и градостроительство Самары 1920-х — начала 1940-х годов [Текст] / А.К. Синельник, В.А. Самогоров. — Самара : СГАСУ, 2010. — 480 с.
12. www.samluka.ru — URL: <http://www.samluka.ru/1609/pamyat.html>

*БАЛЬЗАННИКОВА Екатерина Михайловна, ассист.; E-mail: balzannikova@mail.ru
Самарский государственный архитектурно-строительный университет*

CAMOGOROV Vitaliy Aleksandrovich, канд. архитектуры, проф.; E-mail: samogorov@mail.ru
Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 08.04.15

Balzannikova Ekaterina Mikhailovna, assistant; E-mail: balzannikova@mail.ru, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Samogorov Vitaliy Aleksandrovich, candidate of architecture, professor; E-mail: samogorov@mail.ru, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

ARCHITECTURAL PECULIARITIES OF INDUSTRIAL BUILDINGS OF SAMARA OBLAST AT THE TURN OF THE XX CENTURY

The article considers still existing unique industrial wooden and stone buildings built in Samara region at the turn of the XX century. Their specific architectural features are described. Industrial buildings of that period are found to have been built of red bricks with arclike windows, shallow relief details and scalloped cornices, typical for so called brick «Russian style».

Key words: industrial buildings, architectural peculiarities, brick «Russian style».

REFERENCES

1. Bal'zannikova, E.M. Gradostroitel'noe formirovanie Samary i razvitiye promyshlennosti goroda v konce XIX — nachale XX v. [Urban and industrial development of Samara in the late XIX — early XX century] // Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arhitektura, 2011, N 1, pp. 44–48.
2. Bal'zannikova, E.M. Istorija razvitiya predpriatij mukomol'noj promyshlennosti v Samare v konce XIX — nachale XX vekov [History of developing flour milling enterprises in Samara in the late XIX — early XX centuries] // Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arhitektura, 2012, N 3, pp. 6–10.
3. Bal'zannikova, E.M. Sohranenie gorodskih ob'ektov istoriko-arhitekturnogo nasledija [Preserving urban objects of historical and architectural heritage] // Vestnik MGSU, 2014, N 1, pp. 15–24.
4. Bal'zannikova, E.M. Vlijanie rek na formirovanie promyshlennyh territorij goroda Samary [Rivers impact on formation of Samara industrial areas] // Nauchnoe obozrenie, 2014, N 6, pp. 49–55.
5. Samogorov, V.A., Rybacheva O.S., Fadeev A.V. Osobennosti morfologii prostranstva i zastrojki istoricheskikh kvartalov g. Samary [Morphology features of space and development of Samara historic quarters] // Nauchnoe obozrenie, 2015, N 4, pp. 191–198.
6. Vavilonskaja, T.V. Sohranenie i obnovlenie arhitekturno-istoricheskoy sredy Samarskogo Povolzh'ja [Preservation and renovation of historic architectural space of Samara-Volga region] // Arhitektura i stroitel'stvo Rossii, 2014, N 12, pp. 2–9.
7. Samogorov, V.A., Sysoeva E.A., Chernaja Yu.D. Derevjannaja i kamennoderevjannaja arhitektura Samary konca XIX — nachala XX vekov [Wooden and stone wooden architecture of Samara of the late 19th and early 20th centuries] Samara, OOO Kniga, 2011, 400 p.
8. Sinel'nik, A.K. Istorija gradostroitel'stva i zaselenija Samarskogo kraja [History of town planning and development of Samara region]. — Samara, Izd. dom «Agni», 2003, 228 p.

9. Vavilonskaja, T.V., Alekseev V.V. Osobennosti issledovanija istoricheskikh regionov s pozicij svoeobrazija arhitektурno-istoricheskoy sredy (na primere srednego Povolzh'ja) [Features of historic areas research from a perspective of originality of historic architectural space (through the example of Middle Volga)] // Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitektur'e: Materialy 71-j Vseross. nauchno-tehn. konf. — Samara, Samarskij gosud. arhit.- stroit. un-t, 2014, pp. 537–538.
 10. Litvinov, D.V. Transportnyj karkas v pribrezhnoj zone krupnyh gorodov Povolzh'ja. [Transport frame in near-shore areas of Volga major cities] // Sovremennoe obshhestvo, obrazovanie i nauka. Sb. nauch. trudov konferencii. — Tambov, 2012, pp. 80–81.
 11. Sinevnik, A.K., Samogorov V.A. Arhitektura i gradostroitel'stvo Samary 1920-h – nachala 1940-h godov [Architecture and Town Planning of Samara in the 1920th-early 1940th]. — Samara : SGASU, 2010, 480 p.
 12. www.samluka.ru — URL: <http://www.samluka.ru/1609/pamyat.html>
-

УДК 725.42:628.11(571.1/.5)

Е.В. КЕТОВА, Ю.Е. НИЖЕГОРОДЦЕВА

**ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
И РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ВОДОЗАБОРА
НА ТЕРРИТОРИИ СИБИРСКОГО РЕГИОНА
С КОНЦА XVII ДО НАЧАЛА XX в.**

Возникновение гидротехнических сооружений в государстве Российском имеет давние исторические традиции. Территориальное расширение, образование первых крупных поселений отразилось на увеличении потребности населения в водоснабжении, что и явилось одним из главных факторов строительства водонапорных башен на территории России. Документы свидетельствуют, что выбор места для водонапорных башен основывался на изучении местных природно-географических особенностей. Башни возводились по чертежам, сохранившимся в архивных источниках, на основании которых удается проследить этапы возникновения, развития новых инженерных сооружений на территории Российского государства, а также их типологические, конструктивные, объемно-планировочные и архитектурно-стилистические особенности.

Ключевые слова: водонапорная башня, водоснабжение, типологические особенности.

Одно из первых гидротехнических сооружений Российского государства — Свиблова (Водовзводная) башня была построена на территории Московского кремля в конце XII столетия. Как указывают архивные документы, чтобы обеспечить Кремль родниковой водой, его северную стену приблизили к реке Неглинной, а юго-западную — к Москве-реке. Ранее с восточной стороны был вырыт ров глубиной более 5 м и шириной по верху до 14 м (рис. 1).

Угловая юго-западная башня Кремля (Свиблова) была оснащена тайником для отбора воды из Москвы-реки и подачей ее в Кремль. Позднее в 1630-х гг. эту башню переименовали в Водовзводную, так как подъем воды производился при помощи «водяного взвода», т.е. водоподъемной машины, которая работала от конного привода. На башне был устроен выложенный свинцом напорный резервуар, из него вода по свинцовыми трубам поступала в регулирующий резервуар, который назывался Водовзводной палаткой, на другой башне. Затем по свинцовым трубам, проложенным в земле, вода направлялась во дворцы Сытный, Кормовой, Хлебный, Конюшенный и Потешный, в службы и сады Кремля. На сети располагались напорные баки и резервуары — «водовзводные лари» [1].

В дальнейшем опыт возведения и эксплуатации Водовзводной башни был использован при проектировании и строительстве водонапорных башен, необходимость в которых появилась в связи со строительством железной дороги.

История развития железнодорожного водоснабжения в России началась с постройки и пуска в эксплуатацию первой железной дороги Санкт-Петербург — Царское село в 1837 г., протяженностью всего

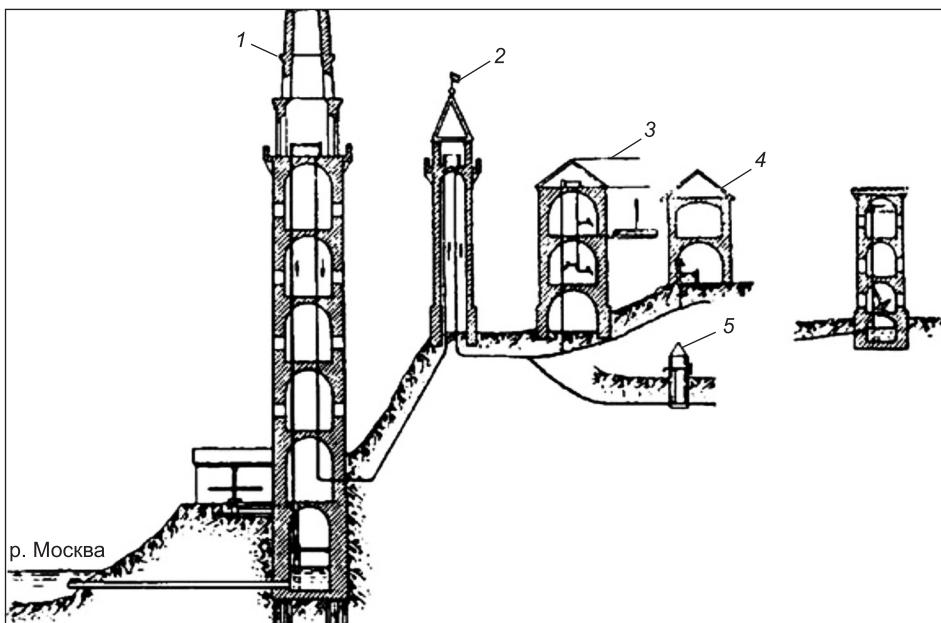


Рис. 1. Схема водоснабжения Московского кремля

1 — водовзводная башня; 2 — водовзводная палатка; 3 — водовзводный чердак; 4 — водовзводный ларь; 5 — колодец

26,7 км. Но уже 1 ноября 1851 г. состоялось открытие движения поездов по первой магистральной линии, связывающей Санкт-Петербург и Москву, протяженностью 650 км.

Анализируя процесс становления железнодорожного дела в России, можно условно выделить два основных этапа в развитии систем водоснабжения.

Первый (начало XIX в.) — от строительства первой железнодорожной линии до начала эксплуатации Транссибирской магистрали в 1890 г., когда строители и инженеры столкнулись с совершенно необычными условиями в области обеспечения объектов железной дороги водой.

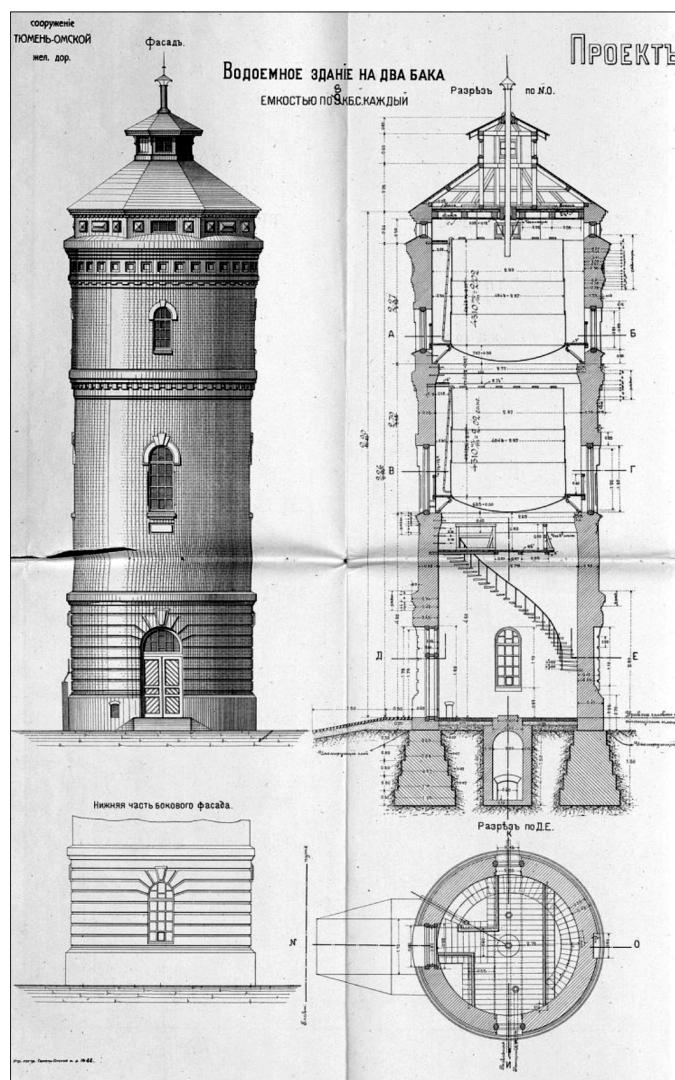
Ко второму этапу относятся годы от начала эксплуатации Транссибирской магистрали до середины XX в., когда на железнодорожном транспорте началась коренная реконструкция железнодорожного хозяйства. Железнодорожное водоснабжение, в отличие от коммунального, имеет ряд особенностей: железные дороги прокладываются в самых разнообразных гидрологических и климатических условиях, по неожиданным, неисследованным территориям. Потребителями воды на железнодорожном транспорте, кроме населения станций и поселков, ранее являлись, в основном, локомотивы, а также локомотивные и вагонные депо, пункты обмыва вагонов и локомотивов, котельные, промывочно-пропарочные станции, шпалопропиточные заводы и пр. Всего к 1910 г. в России было 1417 пунктов водоснабжения, с общим расходом воды в 500 тыс. м³ [1].

Строительство Транссибирской магистрали в конце XIX столетия послужило толчком для разработки новых типов водонапорных сооружений.

Появляется типологический ряд проектов, которые под воздействием природно-ландшафтных и географических особенностей приобретают индивидуальные и уникальные черты. Новые инженерные сооружения оказывают влияние не только на сложение индивидуального архитектурно-художественного силуэта каждого сибирского города, но и на формирование фронтальной композиции всей железной магистрали (рис. 2).

Литературный обзор, анализ архивных источников, фотофиксационных материалов позволил систематизировать водопроводные системы с водонапорными башнями в структуре городской среды и железнодорожного хозяйства в зависимости от архитектурно-градостроительных и объемно-планировочных факторов. Водонапорные сооружения различаются по характеру расположения:

- 1) вблизи берега реки;
- 2) вдоль железной дороги;



*Рис. 2. Типовой проект водонапорного здания на два бака.
ГАНО 1917*

- 3) на возвышенном рельефе;
- 4) при пожарном депо (рис. 3).

Водонапорные башни по характеру расположения в системе водоснабжения могут быть установлены в различных ее частях. Некоторые



■ Исторически сформировавшийся район города

● Водонапорная башня



■ Привокзальная территория

■ Здание вокзала

● Водонапорная башня

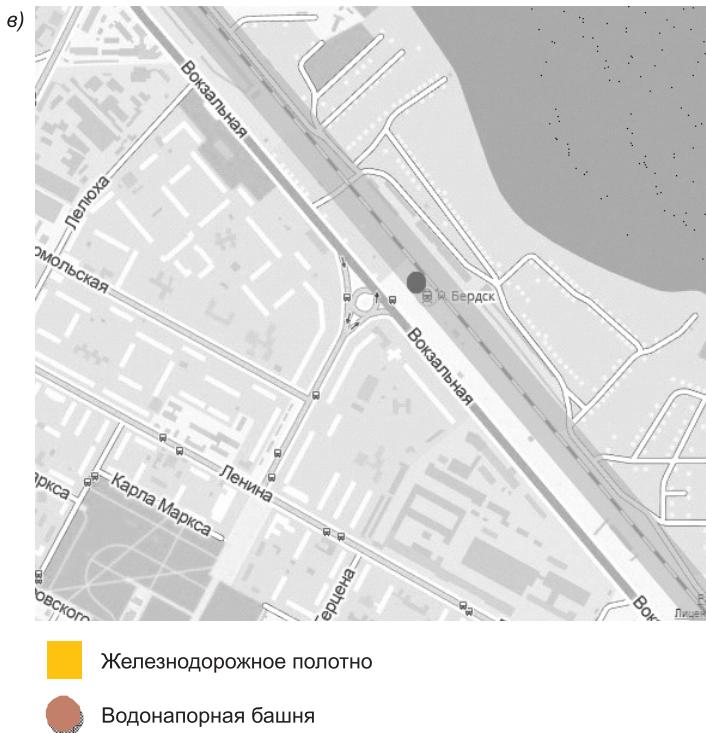


Рис. 3. Градостроительные схемы территориального расположения водонапорных башен в структуре городской среды: в историческом ядре (а); на привокзальной территории (б) и вдоль железнодорожного полотна (в)

примеры расположения представлены на рис. 4. На схеме а показана водонапорная башня в начале сети города, вода поступает из резервуаров и нагнетается насосной станцией 2-го подъема. На схеме б башня расположена в конце водопроводной сети и работает как контррезервуар. При

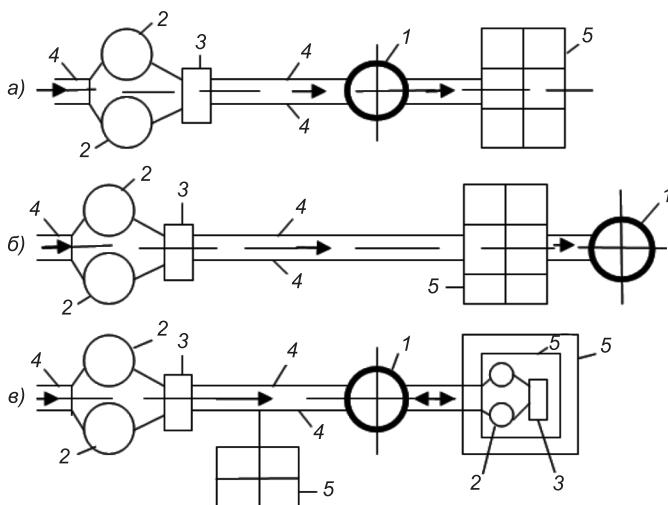


Рис. 4. Примеры расположения водонапорных башен в различных системах водоснабжения

1 — водонапорные башни; 2 — резервуары; 3 — насосные станции;
4 — водоводы; 5 — разводящие сети

подаче воды на промышленные предприятия и в поселок часто система водоснабжения решается по схеме *в*. В этом случае вода, поступающая от насосной станции к башне, питает поселок [2].

Хозяйственно-питьевая сеть предприятия получает воду от башни и находится под ее напором, к этой же сети присоединены внутренние пожарные краны. Вода для производственных целей и внешнего пожаротушения сливается в резервуары, оттуда забирается постоянно работающими насосами производственного назначения и специальными пожарными насосами. Баки водонапорных башен должны быть расположены на такой высоте, чтобы обеспечивать создание напора, необходимого в системе водоснабжения (таблица).

Особенности технических характеристик водонапорных сооружений

Емкость бака, м ³	Диаметр ствола <i>D</i> , внутренний, м	Высота ствола <i>H</i> , м	Высота полушатра <i>H_ш</i> , м
100	4,7	От 15 до 30	5,3
200	5,7	От 15 до 30	5,3
300	6,7	От 20 до 40	7,0
400	7,0	От 20 до 40	7,2
600	9,0	От 20 до 40	7,6
800	10,5	От 25 до 40	7,8
1000	15–20	От 30 до 45	8–10

Выбор высоты и соотношения размеров отдельных элементов башни и всего сооружения в целом, а также конструктивная схема его, определяются гидравлическими условиями работы и архитектурными соображениями.

В системе водоснабжения, обслуживающей противопожарные нужды, в баках водонапорных башен должен содержаться неприкосновенный запас воды, рассчитанный:

- а) для промышленных предприятий — на 10-минутную продолжительность тушения пожара внутренними пожарными кранами;
- б) для населенных мест — на 10-минутную продолжительность тушения одного внутреннего и одного наружного пожара;
- в) для отдельно стоящих зданий — на 10-минутную продолжительность тушения пожара внутренними пожарными кранами при одновременном расходе воды на производственные и хозяйствственно-питьевые нужды.

Материалы для строительства принимаются различные. Баки выполняют из железобетона, металла и в некоторых случаях из дерева. Несущую часть башни строят из железобетона, кирпича, бутового камня, металла, дерева. Выбор материала связан с местом, где осуществляется строительство объекта и учетом влияния климатических условий (рис. 5–7).

Тип конструкций башни зависит от климатических условий, наличия материала и особенностей объекта. При этом необходимо учитывать подобные условия для всего комплекса сооружений, связанных с башней.

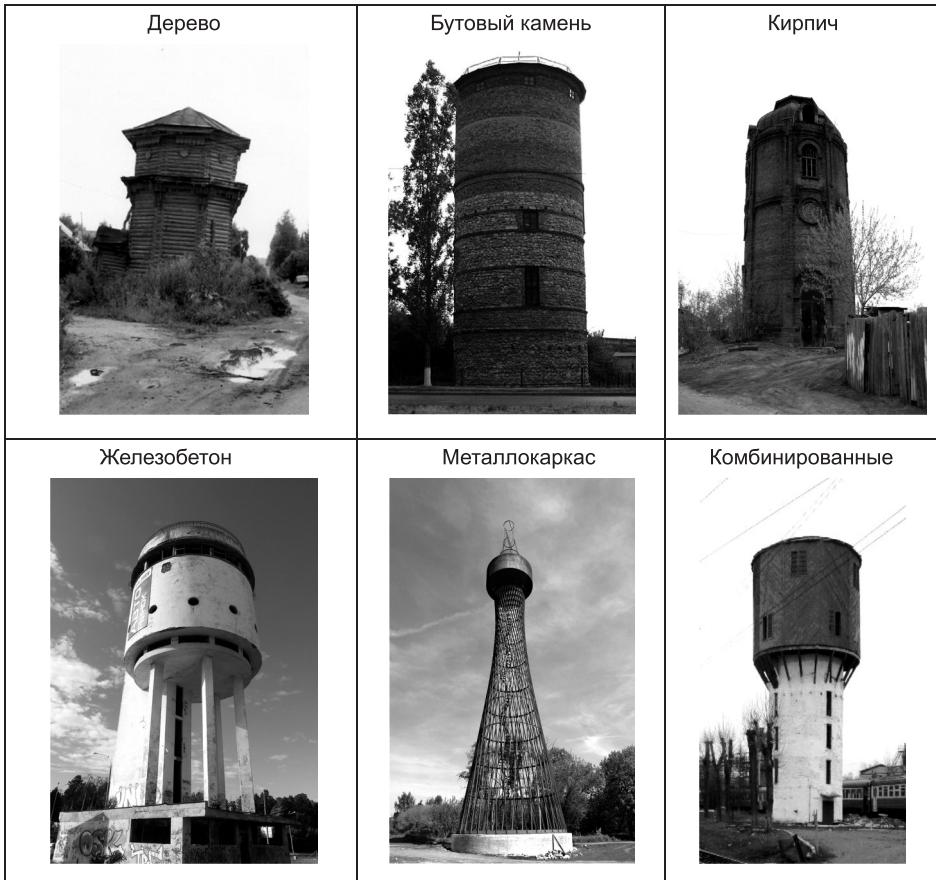


Рис. 5. Варианты применения строительных материалов при возведении водонапорных сооружений с учетом конструктивного решения

Баки устанавливаются в шатрах или без них, что обусловлено климатическими условиями, температурой воды, кратностью ее обмена. Поддерживающая бак нижняя часть башни выполняется как сплошным стаканом, так и в виде отдельных стоек. Сплошную закрытую нижнюю часть можно использовать под служебные помещения.

В результате исследования выявлен и структурирован типологический ряд водонапорных башен по основным направлениям их развития и выявлены следующие особенности возникновения и формирования водонапорных сооружений на территории России:

1. Территориальные особенности расположения водонапорных сооружений:

- в структуре исторического ядра города;
- на периферии города;
- в структуре железнодорожного полотна;
- в структуре железнодорожного вокзала.

2. Конструктивно-технические особенности водонапорных сооружений в соответствии с историческими периодами развития России:

- деревянный колодец (XVII–XVIII вв.);
- каменные башни со свинцовым резервуаром (XVIII–XIX вв.);



Рис. 6. Объемно-композиционные и планировочные особенности водонапорных сооружений

- железобетонные конструкции (начало XX в.);
- гиперболоидные металлические башни (середина XX в.).

При объеме резервуара менее 80 м^3 несущие конструкции (перекрытия, балки) сооружения выполнялись из дерева, а при объеме резервуара более 250 м^3 — из сборного железобетона.

В настоящее время в связи с техническим прогрессом, коснувшимся всех сфер деятельности человека, необходимость в водонапорных башнях, как сооружениях в системе водоснабжения, отпала. Однако водонапорные башни можно рассматривать как объекты архитектурно-конструктивного наследия и экономически целесообразно перепрофилировать их с учетом развития градостроительной структуры.

Следует отметить, что сохранившиеся водонапорные башни на огромной территории Сибирского региона имеют разнообразные типологические особенности, изучение которых даст возможность разработать и внедрить разнообразные новаторские предложения по перепрофилированию и использованию сооружений данного типа. Наряду с этим, многие из башен, как оригинальные высотные архитектурные доминанты, стали индивидуальным украшением городов — их «визитной карточкой». Придание им новой функциональной наполненности помогло бы сохранить



Рис. 7. Архитектурно-стилистические особенности водонапорных сооружений

историко-культурное и инженерно-архитектурное наследие не только Сибири, но России в целом и позволило бы вдохнуть в «старые» сооружения новую жизнь.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронов, Ю.В. История специальности «Водоснабжение и водоотведение»: учеб. пособие для вузов [Текст] / Ю.В. Воронов, Е.А. Пугачев. — М. : Изд-во АСВ, 2008. — 308 с.
2. Зайцева, И.С. История водоснабжения и водоотведения: учеб. пособие [Текст] / И.С. Зайцева, Н.А. Зайцева; Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева. — Кемерово, 2011. — 91 с.

*КЕТОВА Евгения Владимировна, канд. архитектуры, доц.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)
НИЖЕГОРОДЦЕВА Юлия Евгеньевна, студ.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 02.04.15

Ketova Eugeniya Vladimirovna, candidate of architecture, assistant professor,
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Nizhegorodtseva Yuliya Eugenievna, student, Novosibirsk State University of
Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**KEY FEATURES AND DEVELOPMENT
OF ENGINEERING SYSTEMS WATER INTAKE
IN THE SIBERIAN REGION WITH THE END OF THE XVII
TO THE EARLY XX CENTURY**

The emergence of hydraulic structures on the territory of the Russian state has a long historical tradition. Territorial expansion, the formation of the first major settlements resulted in an increase in the water supply needs of the population, and that was one of the main factors leading to create water towers on the territory of Russia. Documents show that the choice of location for the construction of water towers based on the study of local natural and geographic features. Towers were built according to the drawings, which are preserved in archival sources, on the basis of which it is possible to trace the main stages of the origin, development of new engineering structures on the territory of the Russian state, as well as their typological, constructive, space-and-planning, architecture and stylistic features.

Key words: water tower, water, typological features.

REFERENCES

1. Voronov, Yu.V. History of specialty «Water Supply and Sanitation» : manual for schools [Text] / Yu.V. Voronov, E.A. Pugachev. — M. : Publ. ABS, 2008. — 308 p.
 2. Zaitseva, I.S. The history of water supply and sanitation: Proc. Manual [Text] / I.S. Zaitseva, N.A. Zaitseva; Kuzbass State Technical University T.F. Gorbachev. — Kemerovo, 2011. — 91 p.
-

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 697.922.2.001

А.М. ЗИГАНШИН, В.Н. ПОСОХИН, Л.Н. БАДЫКОВА,
Г.А. ГИМАДИЕВА

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В ДВУХМЕРНОМ ТРОЙНИКЕ

Численно моделируется течение воздуха в тройниках. Расчетная схема верифицируется на задаче о вытяжном тройнике на слиянии, получено хорошее совпадение с экспериментальными данными. Решена задача о течении в приточном тройнике на слиянии.

Ключевые слова: численное решение, двухмерный тройник, коэффициент местного сопротивления.

Основные затраты энергии на перемещение воздуха в трубопроводных системах приходятся на преодоление сопротивления возмущающих элементов (ВЭ) — отводы, тройники, расширения, сужения и т.п. Информация о коэффициентах местного сопротивления (КМС) таких элементов содержится в справочниках, например, в [1]. Большое количество представленных в [1] экспериментальных данных не исчерпывает всего многообразия фасонных частей вентиляционных систем, особенно расширявшееся в последние годы в связи с ростом технологических возможностей заготовительного производства. Кроме нетиповых деталей, могут встречаться случаи нестандартного использования вполне типовых фасонных частей.

Попытки аналитического определения КМС тройников (например, работы П.Н. Каменева¹, С.Р. Левина², В.Н. Талиева³ не дали окончательного решения задачи. Стремление сблизить результаты расчета и опыта привело к необходимости введения многочисленных трудно определяемых эмпирических коэффициентов. Современные методы компьютерного моделирования и, в частности, вычислительная гидродинамика — мощный инструмент инженера для получения информации. Важным этапом любого численного исследования должна быть его верификация, т.е. сравнение получаемых сведений с уже известными и достоверными результатами. Хорошее совпадение результатов компьютерного моделирования при решении тестовой задачи с заранее известным результатом позволяет с определенной долей уверенности надеяться на достоверность

¹ Каменев П.Н. Смешивание потоков. М.; Л.: ОНТИ. Гл. ред. строит. лит., 1936. 188 с.

² Левин С.Р. Сопротивление тройников вытяжных воздуховодов // Отопление и вентиляция. 1940. № 10–11. С. 5–10; Левин С.Р. Деление потоков в трубопроводах // Труды ЛТИ им. С.М. Кирова. 1948. № 1 (3). С. 86–103.

³ Талиев В.Н. Аэродинамика вентиляции: Учеб. пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1979. 295 с.

данных, получаемых при распространении этой числовой модели на схожие, но еще не исследованные задачи.

В этой статье определяется сопротивление приточного тройника на слиянии, что возможно, например, при работе двух параллельно включенных в сеть вентиляторов. Данных о сопротивлении такого тройника нет ни в вышеуказанном справочнике [1], ни в справочниках, использующихся при проектировании систем вентиляции в России⁴, Америке⁵ и Европе⁶.

На первом этапе решается задача о течении воздуха через вытяжной тройник на слиянии — случай, хорошо изученный, необходимые сведения для которого приведены в [1]. Численное решение проводится в двухмерной постановке с использованием программы Fluent. Для замыкания системы уравнений движения применяется к-е «стандартная» модель турбулентности в сочетании со стандартными пристеночными функциями. Такая схема хорошо зарекомендовала себя при решении подобных задач [2, 3].

Геометрия расчетной области и линии тока течения приведены на рис. 1.

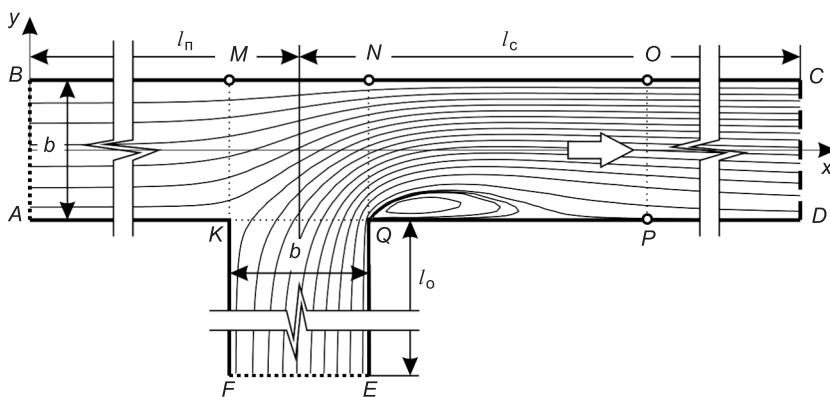


Рис. 1. Геометрия расчетной области

На границе CD задан равномерный профиль скорости $u_x = 68 \text{ м/с}$, на отрезках AB , FE в качестве граничных условий задаются значения избыточного давления. Ширина каналов $b = 0,1 \text{ м}$, длина канала до разветвления на проходе и ответвлении $l_n = l_o = 2 \text{ м} (20 b)$; длина канала после слияния потоков (ствол) $l_c = 10 \text{ м} (100 b)$. Такие большие длины взяты для исключения влияния граничных условий на течение в области слияния потоков.

Рассчитывались течения при разных соотношениях расходов в ответвлении G_o , проходе G_n и стволе G_c , для чего на границах AB и EF изменялись полные давления P^{AB} и P^{EF} . Значения давлений, а также получающееся при этом отношение расходов G_o/G_c , представлены в табл. 1.

⁴ Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2 / Б.В. Баркалов, Н.Н. Павлов, С.С. Амирджанов и др.; Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1992. 416 с.

⁵ Ashrae Handbook — Fundamentals (SI edition).

⁶ Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch der Heizungs- und Klimatechnik. München: Oldenbourg Verlag, 2003.

Таблица 1. Значения давлений на границах AB и EF и величина отношения расходов в боковом ответвлении и стволе G_o/G_c

P^{AB} , Па	P^{EF} , Па	G_n , кг/с	G_o , кг/с	G_c , кг/с	G_o/G_c
-2000	0	1,168	7,161	8,330	0,860
-1500	0	2,410	5,920	8,330	0,711
-1000	0	2,896	5,434	8,330	0,652
-500	0	2,582	5,748	8,329	0,690
0	0	3,428	4,902	8,330	0,588
0	-500	3,778	4,552	8,330	0,546
0	-700	4,075	4,255	8,330	0,511
0	-1000	5,056	3,273	8,329	0,393
0	-1500	5,044	3,286	8,330	0,394
0	-2000	5,128	3,201	8,330	0,384
0	-3000	6,365	1,965	8,330	0,236
0	-4000	7,304	1,026	8,329	0,123

Линии тока на рис. 1 взяты из варианта решения, где избыточные давления на границах AB и EF равны нулю. Сечения KM , NQ и QK обозначают границы возмущающего элемента. Часть канала между сечениями NQ и OP — зона влияния ВЭ в стволе после слияния потоков. Зоны влияния ВЭ вверх по течению (выше сечений MK для прохода и QK для ответвления) пренебрежимо малы. За пределами зоны влияния (части канала между сечениями $AB-MK$ для прохода, $FE-QK$ для ответвления и $OP-CD$ для ствола) полное давление должно изменяться линейно, так как имеют место только потери на трение. В области зоны влияния ($MK-OP$ и $QK-OP$) давление изменяется нелинейно — потери давления на трение суммируются с местными потерями. Нелинейность особенно проявляется в пределах ВЭ ($MK-NQ$ и $QK-NQ$).

Сказанное выше иллюстрируется рис. 2, где приведены расчетные эпюры полного давления, осредненного по расходу. Разрыв в распределении давления между сечениями $KQ-NQ$ и $KM-NQ$ связан с невозможностью определения среднего давления внутри ВЭ. Заметим, что протяженность зон влияния ВЭ вверх по течению близка к нулю, а вниз составляет порядка 15 калибров.

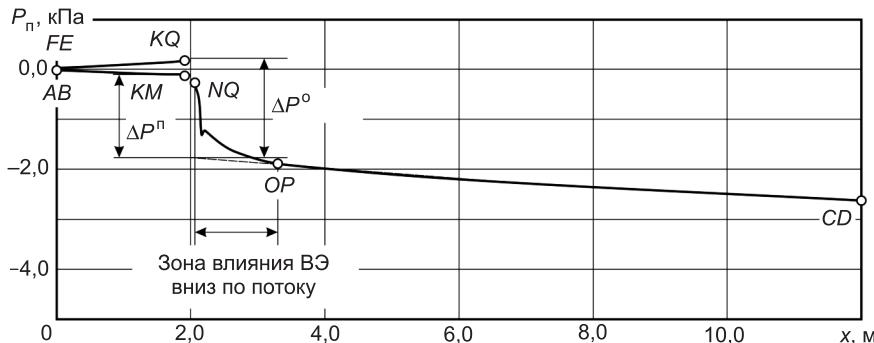


Рис. 2. Изменение давлений по длине канала с тройником на всасывании

Удельные потери давления на трение равны: $R_{\pi} = 66,3 \text{ Па/м}$ ($AB-KM$); $R_o = -85,9 \text{ Па/м}$ ($FE-KQ$); $R_c = 83,7 \text{ Па/м}$ ($OP-CD$). На рисунке также показаны величины падения давлений за счет местных потерь по ответвлению ΔP^o и проходу ΔP^{π} . Здесь важно отметить увеличение полного давления в ответвлении на отрезке $FE-KQ$, что, по-видимому, связано с эжекцией из бокового ответвления прямым потоком.

Используя результаты численного расчета, можно определить КМС для прохода:

$$\zeta^{\pi} = \frac{P_{\pi}^{AB} - P_{\pi}^{CD} - \Delta P_{\text{тр}}^{\pi-c}}{P_{\text{дин}}}$$

и бокового ответвления:

$$\zeta^o = \frac{P_{\pi}^{FE} - P_{\pi}^{CD} - \Delta P_{\text{тр}}^{o-c}}{P_{\text{дин}}}.$$

Здесь P^{AB} , P^{FE} , P^{CD} — значения полного давления на соответствующих границах;

$\Delta P_{\text{тр}}^{\pi-c} = R_{\pi}l_{\pi} + R_c l_c$ — суммарные потери давления на трение потока, проходящего по прямому ответвлению и далее по каналу после тройника (слияние);

$\Delta P_{\text{тр}}^{o-c} = R_o l_o + R_c l_c$ — суммарные потери давления на трение потока, проходящего по боковому ответвлению и далее по каналу после тройника (слияние);

$P_{\text{дин}}$ — динамическое давление в канале по среднерасходной скорости в канале после тройника.

На рис. 3 показаны значения КМС ζ^{π} и ζ^o в зависимости от соотношения расходов G_o/G_c . Здесь же нанесены кривые, построенные по данным [1]. Видно некоторое отличие расчетных результатов в большую сторону, но количественное и качественное согласие численных и экспериментальных результатов хорошее.

Далее решается задача о приточном тройнике на слиянии. На отрезках AB и EF задаются равномерные распределения скорости и соответ-

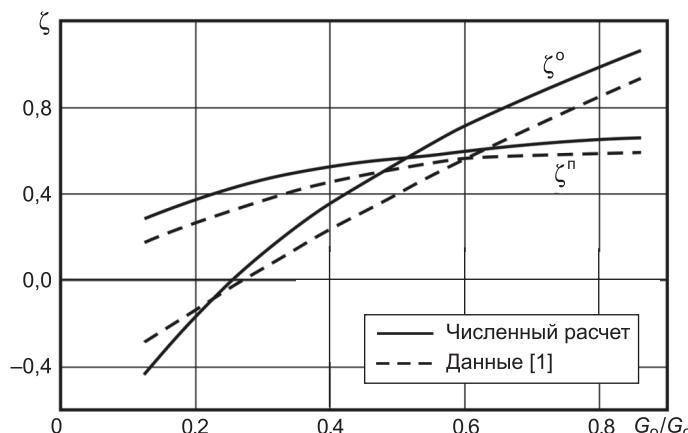


Рис. 3. Зависимость ζ от соотношения расходов в боковом ответвлении и стволе

ствующие расходы $G_{\text{п}}$, G_{o} . На отрезке CD $G_{\text{c}} = G_{\text{п}} + G_{\text{o}}$, остальные граници — непроницаемые стенки. Путем изменения скорости на входных границах моделировалось различное соотношение расходов (табл. 2).

Таблица 2. Соотношение расходов и рассчитанные значения КМС

$G_{\text{п}}, \text{кг}/\text{с}$	$G_{\text{o}}, \text{кг}/\text{с}$	$G_{\text{c}}, \text{кг}/\text{с}$	$G_{\text{o}}/G_{\text{c}}$	$\zeta^{\text{п}}$	ζ^{o}
8,330	1,666	9,996	0,167	0,264	-0,378
8,330	4,165	12,495	0,333	0,397	0,085
8,330	6,664	14,994	0,444	0,461	0,333
8,330	8,330	16,660	0,500	0,486	0,439
6,664	8,330	14,994	0,556	0,511	0,543
4,165	8,330	12,495	0,667	0,533	0,711
1,666	8,330	9,996	0,833	0,553	0,956

На рис. 4 показано изменение давлений по длине канала с приточным тройником на слиянии, при соотношении расходов $G_{\text{o}}/G_{\text{c}} = 0,5$.

Здесь так же, как и ранее для вытяжного тройника, отчетливо видны области, где потери происходят только за счет трения, и зоны влияния возмущающего элемента — области нелинейного падения полного давления. Зона влияния имеет незначительную длину вверх по течению (порядка одного калибра) и в основном распространяется в канале после тройника (порядка 25 калибров).

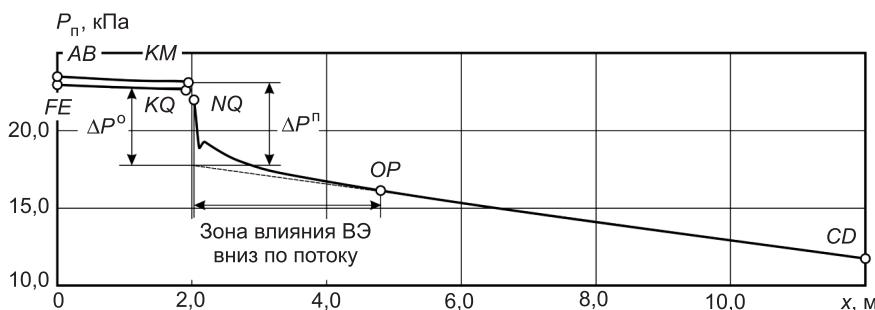


Рис. 4. Изменение давлений по длине канала с тройником на нагнетании

Значения КМС вычислялись аналогично случаю вытяжного тройника и представлены в табл. 2.

В справочниках имеются данные лишь о КМС для приточного тройника на разделении, поэтому представляется интересным сравнить полученные результаты с известными данными о сопротивлении тройника на притоке, но работающем на разделении, и с данными о сопротивлении вытяжного тройника на слияние.

Как хорошо видно из рис. 5, сопротивление приточного тройника на слиянии хорошо совпадает с данными [1] по вытяжным тройникам, работающим на слияние. Подтверждение справедливости такого вывода для тройников любой геометрической конфигурации (с присоединением под углом отличным от 90°) может быть получено после проведения дополнительных исследований.

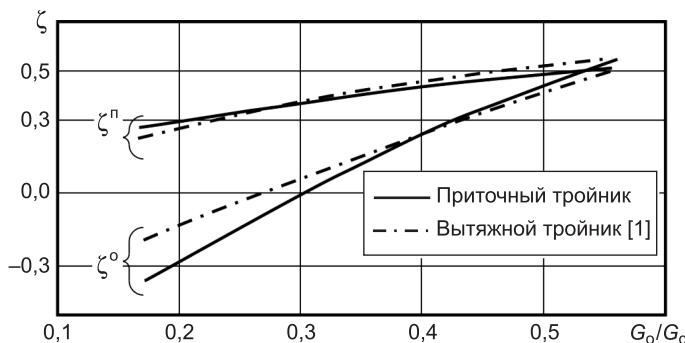


Рис. 5. Сравнение КМС тройников: приточного и вытяжного на слиянии

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / И.Е. Идельчик; под ред. М.О. Штейнберга. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1992. — 672 с.
2. Посохин, В.Н. К определению коэффициентов местных сопротивлений возмущающих элементов трубопроводных систем [Текст] / В.Н. Посохин, А.М. Зиганшин, А.В. Баталова // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 9. — С. 108–112.
3. Посохин, В.Н. О протяженности зон влияния возмущающих элементов трубопроводных систем [Текст] / В.Н. Посохин, А.М. Зиганшин, Д.И. Мударисов // Изв. КазГАСУ. — 2014. — № 2 (28). — С. 121–126.

ЗИГАНШИН Арслан Маликович, канд. техн. наук, доц.

Казанский государственный архитектурно-строительный университет
ПОСОХИН Владимир Николаевич, д-р техн. наук, проф.

Казанский государственный архитектурно-строительный университет
БАДЫКОВА Лейсан Наилевна, студ.

Казанский государственный архитектурно-строительный университет
ГИМАДИЕВА Гюзель Альбертовна, студ.

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 17.04.15

Ziganshin Arslan Malikovich, candidate of technical sciences, assistant professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

Posokhin Vladimir Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

Badykova Leisan Nailevna, student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

Gimadieva Guzel Albertovna, student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

NUMERICAL SIMULATION OF TWO-DIMENSIONAL TEE FLOW

Numerically simulated flow of air in a tee. Design scheme is verified on the problem of exhaust tee at the junction, obtained a good agreement with the experimental data. Further solve the problem of flow in the supply tee at the junction.

Key words: numerical solution, 2 dimensional tee, resistance of tee.

REFERENCES

1. Idelchik, I.E. Handbook of hydraulic resistance [Text] / I.E. Idelchik; Ed. M.O. Shtejnberg. — 3-e izd., pererab. i dop. — M. : Mashinostroenie, 1992. — 672 p.
 2. Posokhin, V.N. To definition of pressure loss coefficients of disturbing elements in pipeline systems [Text] / V.N. Posokhin, A.M. Ziganshin, A.V. Batalova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 9. — P. 108–112.
 3. Posokhin, V.N. On the extent of the zones of influence of disturbing elements of pipeline systems [Text] / V.N. Posokhin, A.M. Ziganshin, D.I. Mudarisov // Izvestiya KazGASU. — 2014. — N 2 (28). — P. 121–126.
-

УДК 621.926.001

И.А. СЕМИКОПЕНКО, В.П. ВОРОНОВ, А.А. ЖУКОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ В ПОМОЛЬНО-СМЕСИТЕЛЬНОМ АГРЕГАТЕ НА БАЗЕ МЕЛЬНИЦЫ ДЕЗИНТЕГРАТОРНОГО ТИПА

Проведено теоретическое исследование процесса смешивания компонентов в помольно-смесительном агрегате на базе мельницы дезинтеграторного типа. Представлена расчетная схема для определения рациональных размеров области смешивания. Приведен график изменения компоненты концентрации сухой смеси, сходящей с ударных элементов внешнего ряда правого ротора дезинтегратора при изменении радиального размера зоны смешивания. Получено аналитическое выражение, определяющее координаты установки разгрузочного патрубка для выхода сухой смеси с необходимой концентрацией выделенной компоненты.

Ключевые слова: агрегат, ротор, смешивание, концентрация, компоненты.

Дезинтеграторы являются одним из основных видов помольного оборудования, обеспечивающего получение готового продукта с заданным гранулометрическим составом [1]. При исследовании процесса изменения концентрации выделенной компоненты смеси сыпучего материала в зоне дополнительного измельчения (заштрихованная область на рис. 1) [2] и смешивания воспользуемся диффузионной моделью.

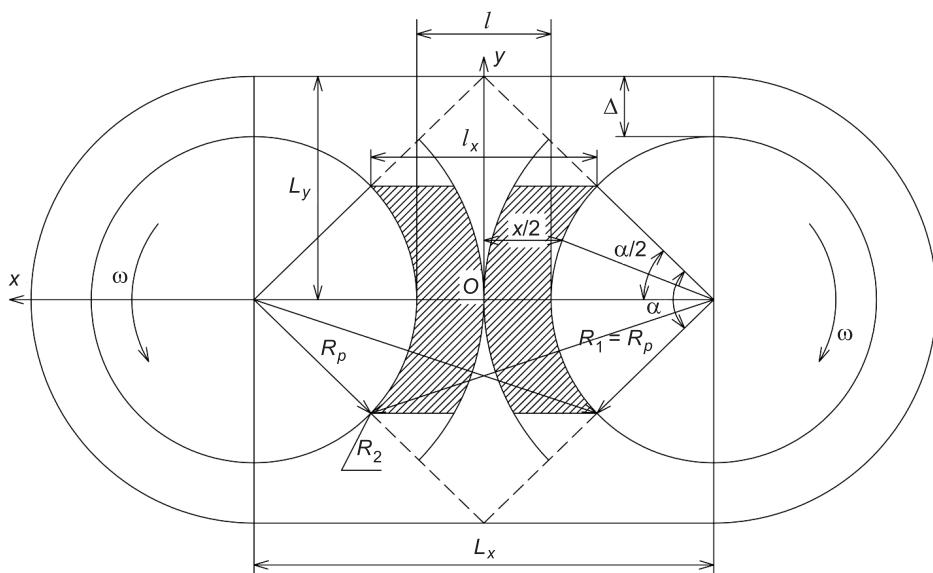


Рис. 1. Расчетная схема для определения зоны смешивания при r , находящегося в пределах $R_p \leq r \leq R_p + l$ (заштрихованная область — зона активного взаимодействия)

Основываясь на результате работы [3] применительно к зоне смещивания (заштрихованная область на рис. 1), изменение концентрации выделенной компоненты сухой смеси в рамках выбранной модели можно описать уравнением вида:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\vartheta_L \frac{\partial L}{\partial L_C} + D_L \frac{\partial^2 C}{\partial L_C^2}, \quad (1)$$

где C — концентрация выделенной компоненты сухой смеси материала; ϑ_L — среднее значение окружной скорости движения материала в зоне смещивания;

D_L — среднее значение коэффициента продольного движения сухой смеси материала в рассматриваемой области.

Согласно расчетной схеме, представленной на рис. 1, находим:

$$L_C = r\alpha, \quad (2)$$

здесь r — радиальное расстояние, отсчитываемое от правого последнего ряда до последнего левого ряда ударных элементов внутренней области дезинтегратора.

Считая движение материала по дуге L_C равномерным, находим, что время движения равно:

$$t = \frac{L_C}{\vartheta_L}. \quad (3)$$

На основании (3) получим дифференциальное соотношение:

$$\frac{\partial}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial L_C} \frac{\partial L_C}{\partial t}. \quad (4)$$

Учитывая, что

$$\frac{\partial L_C}{\partial t} = \vartheta_L, \quad (5)$$

находим:

$$\frac{\partial}{\partial t} = \vartheta_L \frac{\partial}{\partial L_C}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial L_C} = \frac{\partial}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial L_C}. \quad (7)$$

Согласно (2), формула (7) приводится к виду:

$$\frac{\partial}{\partial L_C} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial}{\partial r}, \quad (8)$$

здесь α — угол, выраженный в радианах, значение которого определяется соотношением:

$$\alpha = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{L_y}{R_p + \frac{l}{2}} \right).$$

Исходя из (8), находим:

$$\frac{\partial^2}{\partial L_C^2} = \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{\alpha} \frac{\partial}{\partial r} \right) \frac{\partial r}{\partial L_C} = \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial^2}{\partial r^2}. \quad (9)$$

Подставляя (6), (8) и (9) в (1), получаем уравнение:

$$\frac{D_L}{\alpha} \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} - 2\vartheta_L \frac{\partial C}{\partial r} = 0. \quad (10)$$

Дифференциальное уравнение (10) представим в виде:

$$\chi \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} - \frac{\partial C}{\partial r} = 0, \quad (11)$$

здесь введено следующее обозначение:

$$\chi = \frac{D_L}{2\alpha\vartheta_L}. \quad (12)$$

Для нахождения решения дифференциального уравнения (11) составим характеристическое уравнение:

$$\chi\lambda^2 - \lambda = 0. \quad (13)$$

Квадратное уравнение (13) относительно неизвестной величины λ имеет два корня:

$$\lambda_1 = 0, \quad (14)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{\chi}. \quad (15)$$

На основании (14) и (15) коэффициенты будут иметь вид:

$$C(r) = A_1 + A_2 e^{\frac{r}{\chi}}, \quad (16)$$

где постоянные A_1 и A_2 находим на основании граничных условий:

$$\text{при } r = R_p; C_1(R_p) = 1, \quad (17)$$

$$\text{при } r = R_2; C_1(R_2) = 0, \quad (18)$$

здесь C_1 — концентрация компоненты сухой смеси, поступающей с правого ротора агрегата дезинтеграторного типа в зону смешивания (заштрихованная область на рис. 1).

Согласно расчетной схеме, представленной на рис. 1, находим:

$$R_2 = \sqrt{R_p^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \left(L_x - R_p \cos \frac{\alpha}{2} \right)^2}. \quad (19)$$

Применив (17) к решению (16), получим соотношение:

$$A_1 + A_2 e^{\frac{R_p}{\chi}} = 1. \quad (20)$$

Применение (18) к решению (16) приводит к результату:

$$A_1 + A_2 e^{\frac{R_2}{\chi}} = 0. \quad (21)$$

Вычитая из (20) уравнение (21), находим:

$$1 = A_2 \begin{pmatrix} \frac{R_p}{\chi} & \frac{R_2}{\chi} \\ e^{\frac{R_p}{\chi}} - e^{\frac{R_2}{\chi}} & \end{pmatrix}, \quad (22)$$

отсюда

$$A_2 = \frac{1}{e^{\frac{R_p}{\chi}} - e^{\frac{R_2}{\chi}}}. \quad (23)$$

Подстановка (23) в (21) позволяет получить:

$$A_1 = - \frac{\frac{R_2}{\chi}}{e^{\frac{R_p}{\chi}} - e^{\frac{R_2}{\chi}}}. \quad (24)$$

С учетом (23) и (24) выражение (16) принимает вид:

$$C_1(r) = - \frac{\frac{R_2}{\chi}}{e^{\frac{R_p}{\chi}} - e^{\frac{R_2}{\chi}}} + \frac{\frac{r}{\chi}}{e^{\frac{R_p}{\chi}} - e^{\frac{R_2}{\chi}}} = \frac{e^{\frac{R_p}{\chi}} - e^{\frac{R_2}{\chi}}}{e^{\frac{R_p}{\chi}} - e^{\frac{R_2}{\chi}}} = \frac{e^{\frac{r-R_2}{\chi}} - 1}{e^{\frac{r-R_2}{\chi}} - 1}. \quad (25)$$

Согласно результату работы [2], имеем:

$$D_L = S\omega, \quad (26)$$

$$\vartheta_L = \omega \left(R_p + \frac{l}{2} \right), \quad (27)$$

здесь S — площадь перемешивания (заштрихованная область на рис. 1), которая равна:

$$S = xL_y - 2S_{cer}. \quad (28)$$

Если учесть, что

$$S_{cer} = \frac{R_p^2}{2}\alpha - \frac{1}{2}R_p^2 \sin\alpha, \quad a \quad (29)$$

$$x = L_x - 2R_p \cos \frac{\alpha}{2}, \quad (30)$$

то выражение (28) можно преобразовать к виду:

$$\begin{aligned}
 S &= \left(L_x - 2R_p \cos \frac{\alpha}{2} \right) 2R_p \sin \frac{\alpha}{2} - R_p^2 \alpha + R_p^2 \sin \alpha = \\
 &= 2L_x R_p \sin \frac{\alpha}{2} - 4R_p^2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2} - R_p^2 \alpha + R_p^2 \sin \alpha = \\
 &= 2L_x R_p \sin \frac{\alpha}{2} - 2R_p^2 \sin \alpha - R_p^2 \alpha + R_p^2 \sin \alpha = \\
 &= 2L_x R_p \sin \frac{\alpha}{2} - R_p^2 \alpha - R_p^2 \sin \alpha = R_p^2 \left(2 \frac{L_x}{R_p} \sin \frac{\alpha}{2} - \alpha - \sin \alpha \right).
 \end{aligned} \tag{31}$$

Подстановка (31) в (26) приводит к результату:

$$D_L = R_p^2 \omega \left(2 \frac{L_x}{R_p} \sin \frac{\alpha}{2} - \alpha - \sin \alpha \right). \tag{32}$$

Подставляя (26) и (27) в формулу (14) с учетом (32), получим соотношение:

$$\chi = \frac{R_p \left(2 \frac{L_x}{R_p} \sin \frac{\alpha}{2} - \alpha - \sin \alpha \right)}{2\alpha \left(1 + \frac{l}{2R_p} \right)}. \tag{33}$$

Учет соотношения (33) позволяет привести формулу (25), описывающую изменение концентрации компоненты сухой смеси в зоне смешивания, окончательно к виду:

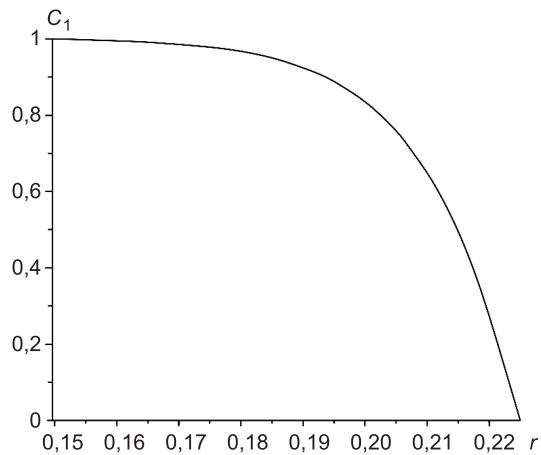
$$C_1(r) = \frac{\exp \left[2\alpha \left(1 + \frac{l}{2R_p} \right) \frac{r}{R_p} - \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{L_x}{R_p} - \cos \frac{\alpha}{2} \right)^2} \right] - 1}{\exp \left[2\alpha \left(1 + \frac{l}{2R_p} \right) \frac{L_x}{R_p} \sin \frac{\alpha}{2} - \alpha - \sin \alpha \right] - 1}. \tag{34}$$

На рис. 2 представлен график изменения компоненты концентрации сухой смеси, сходящей с ударных элементов внешнего ряда правого ротора дезинтегратора при изменении радиального размера зоны смешивания.

Анализ графика позволяет сделать вывод, что приведенная функциональная зависимость носит существенно нелинейный характер.

Рис. 2. График изменения выделенной концентрации C_1 (формула (34)) сухой смеси от изменения расстояния r в зоне смещения

Для нахождения радиального расстояния $R_{\text{вых}}$ от оси вращения правого ротора, где концентрация компоненты сухой смеси C_1 принимает значение C_k , необходимо разрешить следующее уравнение относительно $R_{\text{вых}}$:



$$C_k = \frac{\exp \left[2\alpha \left(1 + \frac{l}{2R_p} \right) \frac{R_{\text{вых}}}{R_p} - \frac{\sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{L_x}{R_p} - \cos \frac{\alpha}{2} \right)^2}}{2 \frac{L_x}{R_p} \sin \frac{\alpha}{2} - \alpha - \sin \alpha} \right] - 1}{\exp \left[2\alpha \left(1 + \frac{l}{2R_p} \right) \frac{1 - \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{L_x}{R_p} - \cos \frac{\alpha}{2} \right)^2}}{2 \frac{L_x}{R_p} \sin \frac{\alpha}{2} - \alpha - \sin \alpha} \right] - 1}. \quad (35)$$

Решение уравнения (35) можно найти, используя численные методы с помощью компьютера. Для этого необходимо задать конкретные числовые значения, а именно: $C_k = 0,5$; $R_p = 0,150$ м; $L_y = 0,153$ м; $L_x = 0,302$ м; $l = 0,002$ м; $f = 0,3$.

Применив данные соотношения к (35), получаем уравнение:

$$0,5 = -1,004 \exp(75,807 R_{\text{вых}} - 16,926) + 1,004. \quad (36)$$

Численное решение уравнения (36) с помощью компьютера приводит к результату: $R_{\text{вых}} \cong 0,214$.

Координату $y_{\text{вых}}$, соответствующую значению $x = 0$, найдем на основании соотношения:

$$y_{\text{вых}} = \sqrt{R_{\text{вых}}^2 - \left(R_p + \frac{l}{2} \right)^2} = \sqrt{(0,214)^2 - (0,151)^2} \cong 0,152. \quad (37)$$

Таким образом, соотношение (37) определяет координаты установки разгрузочного патрубка для выхода сухой смеси с концентрацией выделенной компоненты $C_k = 0,5$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Х и н т, И.А. Основы производства силикальцитных изделий [Текст] / И.А. Хинт. — М.; Л. : Стройиздат, 1962. — 636 с.
2. С е м и к о п е н к о, И.А. К вопросу об определении касательных напряжений в зоне активного взаимодействия роторов агрегатов дезинтеграторного типа [Текст] / И.А. Семикопенко, В.П. Воронов, С.В. Вялых, С.И. Гордеев, А.А. Жуков // Вестн. БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2013. — № 2. — С. 108–109.
3. М а к а р о в, Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов [Текст] / Ю.И. Макаров. — М. : Машиностроение, 1973. — 216 с.

СЕМИКОПЕНКО Игорь Александрович, канд. техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
ВОРОНОВ Виталий Павлович, канд. физ.-мат. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
ЖУКОВ Александр Александрович, асп.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Получено 20.04.15

Semikopenko Igor Aleksandrovich, candidate of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Voronov Vitaliy Pavlovich, candidate of physical and mathematical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Zhukov Aleksandr Aleksandrovich, post-graduate student, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

THEORETICAL RESEARCH OF PROCESS OF COMPONENTS MIXING IN GRINDING-MIXING AGREGATE ON THE BASIS OF DISINTEGRATOR TYPE MILL

In the given article the theoretical research of process of components type mill mixing in grinding-mixing aggregate on the basis of disintegrator is carried out. The graphic of changes of concentration component of dry mixture, leaving impact elements of external line of right rotor of disintegrator at changing of radial size of mixing zone is presented. The analytical expression, defining the coordinates of installation of unloading branch for outlet of dry mixture with necessary concentration of detached component is obtained.

Key words: assembly, rotor, mixing, concentration, component.

REFERENCES

1. Hint, I.A. Manufacture bases of silicacition products [Text] / I.A. Hint. — M.; L. : Stroyizdat, 1962. — 636 p.
2. С e m i k o p e n k o, I.A. On the question of determining the shear stresses in the zone of active interaction rotor assemblies Disintegrator type [Text] / I.A. Semikopenko, V.P. Voronov, S.V. Vyalykh, S.I. Gordeev, A.A. Zhukov // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. — 2013. — N 2. — P. 108–109.
3. М a k a r o v, Yu.I. Machines for mixing bulk materials [Text] / Yu.I. Makarov. — M. : Mashinostroenie, 1973. — 216 p.

УДК 691.001

А.Н. ХАРХАРДИН

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ*

Приводятся возможности применения дискретной топологии к расчету величин основных фундаментальных физических постоянных излучения и вещества, в том числе скорости распространения света в вакууме, относительного содержания энергии межгалактического газа и вещества, темной материи и темной энергии во Вселенной.

Ключевые слова: дисперсные материалы, дискретная топология, фундаментальные физические постоянные, скорость света, темная материя, темная энергия.

Современный этап развития строительного материаловедения характеризуется глубоким исследованием строения вещества, раскрывающим новые возможности создания эффективных материалов [1]. Рентгенофазовый анализ и спектроскопические методы исследования в своей основе используют фундаментальные физические постоянные, которые на каждом уровне развития науки уточняются для достижения высокой степени достоверности основных физических теорий. Окружающие нас вещества материального мира представляют собой корпускулярный конденсат твердой, жидкой или газовой фазы, а в свободном пространстве Вселенной распространяется излучение и содержатся неосязаемые темные субстанции. Всем материальным телам и Вселенной свойственна дискретность на различном масштабном уровне с плотностью упаковки элементов дискретности $\eta \leq 1$. Единство непрерывного и дискретного, излучения и вещества, жидкого и твердого состояния приводит к необходимости рассматривать изучаемые объекты в единстве геометрии и физики — дискретной топологии. Теоретические положения дискретной топологии позволяют вычислить их величины, а в некоторых случаях и уточнить. Приведем ниже такие исследования дискретной топологии.

Ранее [2] из закономерности гравитационного распределения частиц по размерам при высокоплотной случайной ($p = 3, m = 3$) их упаковке

$$d_n / D_1 = [1 / 10\eta_1 (\sqrt{3} - 1)^p]^{mn/3}$$

были получены распределения элементов дискретности вещества в виде зависимости диаметра D_1 корпускулярных образований на различном масштабном уровне (от атома до кластера,nano- и микрочастиц, макро-частиц и космических тел) от размера d_n и плотности их упаковки η_1 в интервалах по $n = 0, 1, 2, 3, \dots$:

$$(3,92\eta_1)^n d \leq D \leq 3,92^n \eta_1 d; \quad (60,38\eta_{c1})^n d \geq D \geq (60,38\eta_{c2})^n d;$$

$$D = (\eta_1 / \eta_{c2})^{3n} d = (\eta_1 / 0,1)^{3n} = (1000\eta_1^3)^n.$$

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации проектной части государственного задания в сфере научной деятельности, проект № 11.1550.2014K.

Мелкомасштабный уровень распределения размеров элементов дискретных образований вещества имеет вид [2]:

$$\begin{aligned} D_1 = [10\eta_1(\sqrt{3}-1)^3]^n &= (3,923\eta_1)^n d = d \dots \mathbf{3,92}\eta_1 d \dots \mathbf{15,39}\eta_1^2 d \dots \\ &\dots \mathbf{60,38}\eta_1^3 d \dots 237\eta_1^4 d \dots 929\eta_1^5 d \dots \mathbf{3645}\eta_1^6 d \dots \\ &\dots \mathbf{220096}\eta_1^9 d \dots \mathbf{13288748}\eta_1^{12} d \dots 802333778\eta_1^{15} d \dots \end{aligned} \quad (1)$$

Из этого выражения получим критический подуровень для случайных упаковок элементов дискретности вещества при $\eta_1 \leq 0,64976$ и $m = (9 \dots 10,5)/3$:

$$\begin{aligned} D_1 = [10\eta_1(\sqrt{3}-1)^{3m}]^n &= (3,923^m\eta_1)^n d = (60,38\eta_1)^n d = d; \\ &60,38\eta_1 d; 3645\eta_1^2 d; 220096\eta_1^3 d; 13288748\eta_1^4 d \dots \end{aligned} \quad (2)$$

Константа $D/d = 220096,5$ входит в выражение для определения величины h/e , если отношение h/e представим в виде произведения величин плотности упаковки элементов дискретности псевдотвердого, псевдо-жидкого и критического состояния неупорядоченных систем, где h — постоянная Планка, e — элементарный заряд (электрона). Величины их рассчитаем по рекуррентному уравнению фазотопологических переходов (ФТП) [2] методом обратного последовательного приближения до величины $\eta_1 = 0,63347284$ при исходном значении $\eta_{c1} = 1/10(\sqrt{3}-1)^3 = 0,25490381$:

$$\eta = \eta_1 \left[1 - \frac{1}{3k \ln[2000(\sqrt{3}-1)^9 \eta_1^5]} \right] = \eta_1 \left[1 - \frac{1}{3k \ln(120,753857\eta_1^5)} \right]. \quad (3)$$

В результате получим:

$$\begin{aligned} 0,633472840524149 &\leftarrow 0,5493819301844228894 \leftarrow \\ &\leftarrow 0,447584998986761523 \leftarrow 0,254903810567665797. \end{aligned}$$

Четвертый член выражения (2), где ($n = 3$) преобразуем к виду:

$$(D/d)^3 kC \leq (60,3769286\eta_i)^3 kC = 220096,456\eta_1\eta_2\eta_3 kC.$$

Левую часть этого равенства обозначим h/e и, подставляя полученные выше значения η_i для излучения и вещества, получим:

$$h/e = 220096 \cdot (0,54938193 \cdot 0,447584999 \cdot 0,25490381) kC, \quad (4)$$

где С — единица размерности h/e , $C = 1 \cdot 10^{-21}$ эрг · с / ед. CGSE.

При $k = 0,99996718185639896$ — величина, полученная для земных условий при восхождении по уравнению (3) от $\eta_1 = 0,640289423105$ до 1, имеем:

$$\begin{aligned} h/e &= 1,3795557985049 \cdot 10^4 \cdot 0,9999671818564 \cdot 10^{-21} \text{ эрг} \cdot \text{с} / \text{ед. CGSE} = \\ &= \mathbf{1,3795105240446} \cdot \mathbf{10^{-17}} \text{ эрг} \cdot \text{с} / \text{ед. CGSE}. \end{aligned}$$

Согласно современным данным [3]:

$$h/e = 6,62606896 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с} / (1,602176487 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,1 \text{ с} \times 2,99792458 \cdot 10^{10} \text{ см} / \text{с}) = 1,37951013218368 \cdot 10^{-17} \text{ эрг} \cdot \text{с} / \text{ед. CGSE},$$

где $e = 1,602176487 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,1 \text{ с} \cdot 2,99792458 \cdot 10^{10} \text{ см} / \text{с} = 4,80320427187535 \cdot 10^{-10} \text{ ед. CGSE};$
 $2,99792458 \cdot 10^{10} \text{ см} / \text{с}$ — величина скорости света.

В настоящее время произведение постоянной Планка на число Авогадро определено точнее, чем каждая из этих констант [3]: $hN_A = 3,9903126821 \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot \text{моль}^{-1}$. Предварительно рассчитаем величину элементарного заряда в единицах CGSE, используя расчетное значение скорости света $c = 2,9979245577 \cdot 10^{10} \text{ см} / \text{с}$ [4, таблица] и рекомендованное «КОДАТА-2006» $e = 1,602176487 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$:

$$e = 1,602176487 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,1 \text{ с} \cdot 2,9979245577 \cdot 10^{10} \text{ см} / \text{с} = 4,803204236155835 \cdot 10^{-10} \text{ ед. CGSE}.$$

Новое значение постоянной Планка при этом равно:

$$h = 1,379510524 \cdot 10^{-17} \text{ эрг} \cdot \text{с} / \text{ед. CGSE} \cdot 4,8032042361558 \cdot 10^{-10} \text{ ед. CGSE} = 6,6260707929125786 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с}.$$

Число Авогадро:

$$N_A = 3,9903126821 \cdot 10^{-10} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot \text{моль}^{-1} / 6,6260707929125786 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} = 6,02214012921224 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

Константа Больцмана:

$$k_B = R/N_A = 8,314472 \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1} / 6,02214012921224 \cdot 10^{-23} \text{ моль}^{-1} = 1,38065070250825 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}.$$

Полученные топологические величины $\eta_1 = 0,63347284$ (0,634052826) и $\eta_1 = 0,640289423$ (0,640326743) имеют также отношение к определению величин фундаментальных физических постоянных. Так, величину постоянную тонкой структуры можно определить из отношения кривизны топологического пространства к критической плотности упаковки элементов дискретности излучения:

$$\begin{aligned} 1/\alpha &= \frac{3 \cdot 10(0,63347284 / 0,634052826)^3 k^{0,064658736384}}{0,63347284^{10/3}} = \\ &= 30 \cdot 0,997256210795862 \cdot 4,5804344 = 137,03629 \cdot 0,999997878 = \\ &= 137,03599961, \end{aligned}$$

где показатель степени k представлен как произведение $\eta_{c2}\eta$: $\eta_{c2} = 0,1$, а $\eta = 0,64658736384$, расчет этой величины приводится ниже.

Канонические значения η_1 и η вычисляются из второй критической плотности упаковки элементов дискретности неупорядоченных систем — $\eta_{c2} = 0,1$:

$$\eta_i = (0,1 / k_i^n)^{0,2}, \quad (5)$$

$$k_1 = [1/10(\sqrt{3}-1)^3]^{1/3} / [1/10(\sqrt{3}-1)^6] \approx \\ \approx 0,634053 / 0,64976 = 0,9758269.$$

Из выражения (5) при $n = 0..6$ получим: $\eta_1 = 0,630957; 0,6340528; 0,6371635; 0,640289423105; 0,64343068928; 0,64658736384; 0,6497595264$.

Современное значение постоянной тонкой структуры вычисляется по формуле

$$1/\alpha = 4\pi\epsilon_0\hbar c / e^2,$$

где ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума;
 $\hbar = h / 2\pi$ — постоянная Планка, и будет равна [3]:

$$1/\alpha = (4\pi \cdot 8,8541878 \cdot 10^{-12} \text{ ФМ}^{-1} \cdot 1,054571628 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \times \\ \times 2,99792458 \cdot 10^{10} \text{ см} / \text{с}) / (1,602176487 \cdot 10^{-19} \text{ Кл})^2 = 137,0359997.$$

Согласно полученным выше топологическим данным:

$$1/\alpha = (4\pi \cdot 8,8541878 \cdot 10^{-12} \text{ ФМ}^{-1} \cdot 1,054571919915 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \times \\ \times 2,9979245577 \cdot 10^{10} \text{ см} / \text{с}) / (1,602176487 \cdot 10^{-19} \text{ Кл})^2 = 137,036036.$$

Это достаточно хорошая сходимость с данными литературных источников.

Вторая константа выражения (2) представляет собой длину волны границы серии Бальмера видимой области линейчатого спектра поглощения одноатомных газов:

$$\lambda_B = \frac{1 \text{ \AA}^{\circ}}{(0,1 \cdot 0,64976)^3 k^2} = \frac{100 \text{ \AA}^{\circ}}{0,2549 \cdot 0,64028942^5 k^2} = 3645,6(3645,6) \text{ \AA}^{\circ};$$

$$\lambda_B = [10(\sqrt{3}-1)^3]^6 \text{ \AA}^{\circ} / k^2 = 60,3769286^2 \text{ \AA}^{\circ} / k^2 = \\ = 3645,37 \text{ \AA}^{\circ} / 0,9999671818^2 = 3645,6 \text{ \AA}^{\circ}.$$

Для получения квантово-механической величины выражение для λ_B записывается в виде

$$\lambda_B = 1000 \text{ \AA}^{\circ} / (0,64976^3 / k_0^{2/3}) = 3647,053(3647,0533) \text{ \AA}^{\circ},$$

где $k_0^{2/3} = 0,99930939^{2/3} = 0,99953954$.

Топологическая константа Ридберга для атома водорода:

$$R_\infty^H = 4 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} \cdot 0,6497595264^3 / k^{2,552056} = 1,0973731568513 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1},$$

где показатель степени при k равен:

$$10\eta_{cl} / k_0^{\eta_l^{10/3}} = 10\eta_{cl} / k_0^{0,6425704^{10/3}} = 2,5490381 / 0,994845224^{0,22894743} = \\ = 2,552055976289;$$

$$\eta_1 = 0,99971^3 (0,639996511 / 0,64658736384) 0,649759526 \times \\ \times 0,999967182^{1/3} = 0,642570422651.$$

k_0 — расходимость кривизны топологического пространства с евклидовым пространством на уровне размера просвета, образуемого между тремя соприкасающимися шарами,

$$k_0 = (\sqrt{3} - 1)^6 / \left(\frac{2\sqrt{3}}{3} - 1 \right) = 0,1539 / 0,1547 = 0,994845223857.$$

По данным «КОДАТА-2006» $R_\infty^H = 1,09737315685 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ [3].

В соответствии с данными КОДАТА на 1981 год:

$$R_\infty = (0,640326743^5 \cdot 4k_0^{2/3}) / (\sqrt{3} - 1)^3 \cdot 10^{-5} \text{ см} = \\ = 1,09677585 (1,096775) \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}.$$

При этом $\lambda_B = 4 / 1,09677585 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} = 3645,0533$.

Для ультрафиолетовой области спектра поглощения (серия Леймана):

$$\lambda_l = 1000 \text{ } \overset{\circ}{\text{A}} / (0,1 \cdot 0,64976)^{10/3} k_0 = 911,456 (911,27) \text{ } \overset{\circ}{\text{A}},$$

либо

$$\lambda_l = 1 / R_\infty^H = 1 / (1,0973731568..1,0973731570) \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} = 911,267 \text{ } \overset{\circ}{\text{A}}.$$

Для инфракрасной области спектра поглощения (серия Пфундта):

$$\lambda \approx 1000 \cdot 0,99971 \text{ } \overset{\circ}{\text{A}} / [1 / 10(\sqrt{3} - 1)^2] 0,64976^{10/3} \times \\ \times 0,994845224^2 \approx 22782,6 (22782) \text{ } \overset{\circ}{\text{A}}.$$

$$\lambda = (1000 \text{ } \overset{\circ}{\text{A}} / 0,999967182) \cdot \{[1 / 10(\sqrt{3} - 1)^2] / 0,64658736^{10/3}\} \times \\ \times 0,9948452 / 0,99971^4 = 22782 (22782) \text{ } \overset{\circ}{\text{A}}.$$

Масса покоя электрона:

$$m_e = R_\infty c h^3 / 2\pi^2 e^4 k_4^{1/2} = 1,0973731568513 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} \times \\ \times 2,9979245577 \cdot 10^8 \text{ м / с} \cdot 0,1 \text{ с} \cdot (6,6260707929125786 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с})^3 / \\ / 2\pi^2 (4,803204236155835 \cdot 10^{-10} \text{ ед. CGSE})^4 \times \\ \times 0,9999671818^{1/2} = 9,1095394 (9,109534) \cdot 10^{-31} \text{ кг.}$$

Эти выводы подтверждают корпускулярно-волновой дуализм дискретных систем. В скобках приведены данные, полученные на основе спектроскопических измерений и квантово-механических расчетов.

Скорость света как одна из фундаментальных физических величин является мировой константой. Считая, что скорость света зависит от отношения плотности энергий излучения и вещества в процессе развития

Вселенной, т.е. от плотности упаковки в них элементов дискретности и структуры, запишем эту зависимость в виде следующего выражения:

$$c = dM(\eta_i / \eta_b)^{\eta_c \eta}, \quad (6)$$

где d, M — размерность пространства ($d = 3$) и единица измерения (масштаб) скорости света, $M = 10^8$ м/с;

η_i и η_b — плотность случайной упаковки элементов дискретности излучения и вещества;

η_c и η — критическая плотность случайной упаковки элементов дискретности вещества ($\eta_c \leq 0,1 \dots 0,2549$) и амплитудная плотность их упаковки.

Амплитудные (флуктуационные) плотности случайной упаковки элементов дискретности топологических пространств получают из уравнения (5), записанного в виде:

$$\eta = [0,1 / (\eta_k / \eta_{1\max})^n]^{1/m}, \quad (7)$$

где $\eta_k, \eta_{1\max}$ — каноническая и наибольшая плотность случайной упаковки элементов дискретности топологических пространств (вещества, излучения и др.);

n — уровни развития структуры топологических пространств, $n = 0 \dots 5$;
 m — показатель степени, определяющий период развития топологического пространства Вселенной, $m = 0 \dots 5$; $m = 0 \dots 1$ — в ранний период развития Вселенной, $m = 5$ — в настоящий период и $m = 2 \dots 4$ — в поздние периоды развития.

Из выражения (6) следует, что при $\eta_c \eta \rightarrow 0$ и $d = 3$ в ранний период развития Вселенной скорость света равна $10^8 d$ м/с = 300000 км/с. Из выражения (6) на ранней стадии развития Вселенной ($m = 1, n = 0$) $\eta_c = 0,1$, а $\eta \leq 0,64658736384$.

В настоящий период развития расширяющейся Вселенной ($m = 5, n = 5$) из выражения (7) каноническая и наибольшая плотности случайной (произвольной) упаковки элементов дискретности излучения соответственно будут равны:

$$\eta_{1k} = [0,1 / (0,6340528260637239 / 0,6497595264191645)^5]^{1/5} = 0,646587363840471.$$

$$\eta_1 = (0,64658736384047 \cdot 0,6334728405241492182)^{1/2} = 0,639996510942868.$$

Скорость света в настоящий период развития Вселенной равна:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot (0,6334728405241492182 / 0,640289423105008)^{0,064658736384} = 2,99792455770653 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Скорость света в вакууме вблизи источника излучения:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot (0,63347284052415 / 0,639996510942868)^{0,064658736384 \dots 0,649759526419} = 2,9980132559 \dots 2,9980034939 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Анализ изменения скорости света согласно формулам (6, 7) дан в работе [4].

Полный спектр излучения в единицах плотности упаковки элементов его дискретности на подуровнях согласно уравнению (3) будет равен:

- на главном подуровне **1,005523135** ← 0,936003545 ← 0,866096308 ← ← 0,795249264 ← 0,72258904 ← **0,64658736384** → 0,564120359 → → 0,466756634 → 0,3086441 → 0;
- на верхнем подуровне **0,9997102488** ← 0,930174435 ← 0,860212938 ← ← 0,71638485066 ← **0,639996510943** → 0,55673815674 → → 0,457255948 → 0,2842876865;
- на среднем подуровне **1,0634827** ← 0,9939944 ← 0,92444006 ← ← 0,854421346 ← 0,783345728 ← 0,710262517 ← ← **0,6334728405241492182** ← 0,5493819301844228894 ← ← 0,447584998986761523 ← **0,254903810567665797**.

Для плотнейшей систематической (регулярной — $\eta_1 = \pi / 3\sqrt{2} = 0,7404805$) укладки и случайной (произвольной — $\eta_1 = 0,6402894$ и $\eta_1 = 0,1(\sqrt{3} / 2 + 1)^3 = 0,64976$) упаковки элементов дискретности вещества в трехмерном пространстве по уравнению (3) получим следующие ряды их величин:

$$\begin{aligned} 1,008335 &\leftarrow 0,9388221 \leftarrow 0,8689398 \leftarrow 0,7981449 \leftarrow 0,72558155 \leftarrow \\ &\quad \leftarrow \mathbf{0,6497595264} \rightarrow 0,5676 \rightarrow 0,4712 \rightarrow 0,3190; \\ 1,02240466 &\leftarrow 0,95291771 \leftarrow 0,8831472 \leftarrow 0,8125931 \leftarrow \\ &\quad \leftarrow \mathbf{0,7404805} \rightarrow 0,66549 \rightarrow 0,58505 \rightarrow 0,49277 \rightarrow 0,3619145; \\ 0,9999671818 &\leftarrow 0,930432 \leftarrow 0,8605 \leftarrow 0,7895 \leftarrow 0,71666 \leftarrow \\ &\quad \leftarrow \mathbf{0,6402894} \rightarrow \dots \rightarrow 0,28561 \rightarrow 0,930465 \rightarrow 0,8605 \rightarrow 0,78955 \rightarrow \\ &\quad \rightarrow 0,716695 \rightarrow \mathbf{0,640326745} \rightarrow \dots \rightarrow 0,2856. \end{aligned}$$

Изменение плотности упаковки элементов дискретности излучения и вещества при топологических (фазовых) переходах из уравнения (3) будет равно:

$$\Delta\eta = \eta_1 - \eta = \eta_1 / 3k\ln[2000(\sqrt{3} - 1)^9 \eta_1^5], k \geq 1.$$

При этом изменение информационной энтропии при топологических (фазовых) переходах вещества [2] и $\eta_1 = 0,6402894 \dots 0,64658736 \dots 0,64976$ равно:

$$\begin{aligned} \Delta S &= k_B \ln \Delta\eta = k_B \ln \left[\frac{\eta_1}{3k\ln[2000(\sqrt{3} - 1)^9 \eta_1^5]} \right] = \\ &= k_B \ln \left\{ \frac{0,640289 \dots 0,64976}{3\ln[120,754(0,640289 \dots 0,64976)^5]} \right\} \approx -2,5k_B. \end{aligned}$$

Так как энергия составных частей структуры Вселенной пропорциональна их объемным долям (массовым долям при делении на σ_{max}), то объемная (массовая) доля темной субстанции (темной материи и темной

энергии) в ячеистой структуре Вселенной равна: $\sigma = \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0,930 - 0,936$, а энергия конденсата (межгалактического газа, звезд, вещества и пр.) в современной Вселенной составляет:

$$\varepsilon \leq \sigma_{\max} - \sigma = 1 - 0,930465 \approx 1,0055 - 0,936 \approx 0,99971 - 0,93017 \approx 1,06348 - 0,993994 \approx 1,0224 - 0,952918 \approx 0,0695 (6,95 \%).$$

Энергии вещества ε_1 и межгалактического газа, звезд и нейтрино ε_r во Вселенной соответственно будут равны:

$$\varepsilon_1 = (\sigma_{\max} - \sigma)\eta_i / (1... \sigma_{\max}) \cdot 100 \%,$$

$$\varepsilon_1 = 100(1,022405 - 0,9529177)0,7404805 / (1...1,022405) = 5,145...5,0326 \%,$$

$$\varepsilon_1 = 100(1,008335 - 0,938822)0,649759526 / (1...1,008335) = 4,52...4,48 \%,$$

$$\varepsilon_1 = 100(1,005523 - 0,9360035)\mathbf{0,64658736384} / (1...1,005523) = 4,50...4,47 \%,$$

$$\varepsilon_1 = 100(0,9999671818 - 0,930432)\mathbf{0,640289432} / (1...0,9999671818) = 4,45 \%,$$

$$\varepsilon_1 = 100(0,999710249 - 0,93017443)\mathbf{0,639996511} / (1...0,9997102488) = 4,45 \%,$$

$$\varepsilon_1 = 100(1 - 0,930465)0,640326745 / 1 = 4,45 \%,$$

$$\varepsilon_r = \varepsilon - \varepsilon_1 = (\sigma_{\max} - \sigma)(1 - \eta_i) / (1... \sigma_{\max}).$$

$$\varepsilon_r = 100(1,022405 - 0,9529177)(1 - 0,7404805) / (1...1,022405) = 1,803...1,764 \%,$$

$$\varepsilon_r = 100(1,008335 - 0,9388221)(1 - 0,6497595) / (1...1,008335) = 2,44...2,41 \%,$$

$$\varepsilon_r = 100(1,005523 - 0,9360035)(1 - 0,646587364) / (1...1,0055235) = 2,46...2,44 \%,$$

$$\varepsilon_r = 100(0,99971025 - 0,93017444)(1 - \mathbf{0,639996511}) / (1...0,99971025) = 2,5 \%,$$

$$\varepsilon_r = 100(0,999967182 - 0,930432)(1 - \mathbf{0,640289432}) / (1...0,999967182) = 2,5 \%,$$

$$\varepsilon_r = 100(1 - 0,930465)(1 - \mathbf{0,640326745}) / 1 = 2,5 \%,$$

Дадим оценку содержания энергии темной материи в современной Вселенной по формуле:

$$\varepsilon_2 \approx 100(\eta'_c \eta_{1\max} / \sigma_{\max}).$$

Плотность упаковки элементов дискретности в системе при этом будет равна:

$$\eta = (\eta'_c \eta_1 / \sigma_{\max})^{0,2}.$$

$$\varepsilon_2 = 100 \cdot 0,3190 \cdot 0,7405 / 1,008335 = 23,426 \%,$$

$$\eta = (0,2362 / 1,008335)^{0,2} = 0,748.$$

$$\varepsilon_2 = 100 \cdot 0,3619145 \cdot 0,7405 / 1,0224 = 26,21 \%,$$

$$\eta = (0,26799 / 1,0224)^{0,2} = 0,765.$$

$$\varepsilon_2 = 100 \cdot 0,3086441 \cdot 0,7405 / 1,0055 = 22,73 \%, \\ \eta = 0,2273^{0,2} = 0,74356.$$

$$\varepsilon_2 = 100 \cdot 0,2842877 \cdot 0,7405 / 0,99971 = 21,056 \%, \\ \eta = 0,210556^{0,2} = 0,7323.$$

$$\varepsilon_2 = 100 \cdot 0,2854673 \cdot 0,7405 = 21,14 \%, \eta = 0,21138^{0,2} = 0,7328.$$

$$\varepsilon_2 = 100 \cdot 0,2856168 \cdot 0,7405 = 21,15 \%, \eta = 0,21149^{0,2} = 0,7329.$$

$$\varepsilon_2 = 100 \cdot 0,7405^5 = 22,26 \%, \eta = 0,22262^{0,2} = 0,7405.$$

Следовательно, $\varepsilon_2 = 100\eta_{cl} = 100\eta_1^n$.

При $\eta_1 = 0,6399965 \dots 0,640289 \dots 0,646587 \dots 0,64976 \dots 0,7405$ получим:

$$\varepsilon_2 = 100(0,639996^{10/3} \dots 0,640289^{10/3} \dots 0,646587^{3,45} \dots 0,64976^{3,5} \dots 0,7405^5) \% = \\ = (22,59 \dots 22,625 \dots 22,216 \dots 22,11 \dots 22,26)\%.$$

Содержание темной энергии во Вселенной составляет:

$$\varepsilon_3 = 100 \% - (4,45 + 2,5 + 21,02 \dots 22,26)\% = 70,79 \dots 72 \%.$$

Следовательно, некоторые материальные субстанции Вселенной имеют упорядоченные и неупорядоченные структуры. Так, содержание во Вселенной энергии вещества с упорядоченной структурой $\varepsilon_1 \approx 5,15 \%$, а с неупорядоченной $\varepsilon_1 \approx 4,45 \%$. Содержание энергии межгалактического газа, звезд и нейтрино с упорядоченной структурой $\varepsilon_g \approx 1,8 \%$, что противоречит их физическому состоянию, а с неупорядоченной структурой $\varepsilon_g \approx 2,5 \%$ и соответствует ему.

Темная материя при отрицательном давлении (разряжении) и низкой температуре Вселенной находится при отрицательном критическом состоянии с соответствующими физическими и топологическими свойствами:

$$\varepsilon_2 = \eta_{cl} = \eta_1^{5 \dots 10/3} \approx 0,7405^5 \dots 0,62634^{10/3} (0,73205^5) \approx 0,22262 \dots 0,2102.$$

Темная энергия (вакуума) характеризуется упорядоченной структурой с плотнейшей упаковкой в ней элементов дискретности (виртуальных частиц):

$$\varepsilon_3 = 1 - (0,0695 + 0,22262 \dots 0,2102) \approx 0,7079 \dots 0,7203,$$

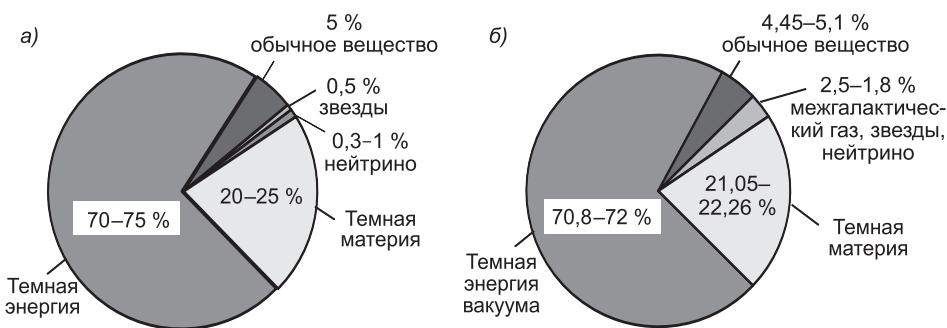
так как при случайной их упаковке в неупорядоченной системе она завышена:

$$\eta_1^{10/3} = 0,6402894^{10/3} = 0,22625, \text{ а } 0,22625^{0,2} = 0,742878 > 0,7404805,$$

где $0,22262^{0,3} = 0,63719$.

Величины $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ (выделены жирно) можно получить непосредственно в ряду фазового изменения и содержания материальных субстанций по уравнению (3) в холодной, ячеистой структуре Вселенной:

$$1 \rightarrow 0,930465 \rightarrow 0,8605 \rightarrow 0,7896 \rightarrow 0,7167 \rightarrow \mathbf{0,640326745} \rightarrow \\ \rightarrow 0,5571 \rightarrow 0,4577 \rightarrow 0,2854670 \rightarrow \mathbf{0,0695} \rightarrow 0,1395 \rightarrow \mathbf{0,2105} \rightarrow \\ \rightarrow 0,2833 \rightarrow 0,3597 \rightarrow 0,4429 \rightarrow 0,5423 \rightarrow \mathbf{0,7145}.$$



Баланс энергий в современной Вселенной:

a — по данным В.А. Рубакова [5]; *б* — согласно нашему расчету

При этом (рисунок)

$$\varepsilon_3 = 100 \% - (6,95 + 21,05 \dots 21,60 \dots 22,26) \% = 72,0 \dots 71,45 \dots 70,79 \%,$$

где $\eta_1 = 0,2105^{0,2} \dots 0,2160^{0,2} \dots 0,2226^{0,2} = 0,7320 \dots 0,7360 \dots 0,7405$.

Для получения точных величин фундаментальных физических постоянных стоит задача уточнения прежде всего величины элементарного заряда электрона и величины отношения h/e . Полученное содержание энергии вещества, темной материи и темной энергии во Вселенной и их взаимосвязь, наличие которой не установлено до настоящего времени, лучшим образом отражают ее структуру по сравнению с литературными данными [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Лесовик, В.С. Влияние наноразмерного сырья на процессы структурообразования в силикатных системах [Текст] / В.С. Лесовик, В.В. Строкова, А.А. Володченко // Вестн. Белгород. гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова. — 2010. — № 1. — С. 13–17.
- Хархардин, А.Н. Структурная топология дисперсных материалов [Текст] / А.Н. Хархардин. — Белгород : Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2011. — 288 с.
- Каршенбойм, С.Г. Новые рекомендованные значения фундаментальных физических постоянных (КОДАТА-2006) [Текст] / С.Г. Каршенбойм // Успехи физ. наук. — 2008. — Т. 178, № 10. — С. 1057–1064.
- Хархардин, А.Н. Топологический формализм в определении величин фундаментальных физических постоянных [Текст] / А.Н. Хархардин // Изв. вузов. Строительство. — 2014. — № 12. — С. 104–112.
- Рубаков, В.А. Иерархии фундаментальных констант [Текст] / В.А. Рубаков // Успехи физ. наук. — 2007. — Т. 177, № 4. — С. 407–413.

*ХАРХАРДИН Анатолий Николаевич, д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

Получено 24.04.15

Kharkhardin Anatoliy Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

TOPOLOGICAL CHARACTERISTICS OF DISCRETE SYSTEMS

The adaptability of discrete topology for calculation of basic fundamental physical constants of radiation and substance including speed of light in vacuum in regard to energy content of intergalactic gas and substance, black matter and black energy in the Universe.

Key words: disperse materials, discrete topology, fundamental physical constants, velocity of light, dark matter, dark energy.

REFERENCES

1. Lesovik, V.S. Influence nanodimensional raw materials on structurization processes in silicate systems [Text] / V.S. Lesovik, V.V. Strokova, A.A. Volodchenko // Bull. Belgorod Shukhov State Technological University. — 2010. — N 1. — P. 13–17.
2. Kharkhardin, A.N. Structural topology of dispersed materials [Text] / A.N. Kharkhardin. — Belgorod: BSTU, 2011. — 288 p.
3. Karshenbojm, S.G. New recommended values for fundamental physical constants (CODATA-2006) [Text] / S.G. Karshenbojm // Advances of physical sciences. — 2008. — Vol. 178, N 10. — P. 1057–1064.
4. Kharkhardin, A.N. Topological formalism in determination of fundamental physical constants [Text] / A.N. Kharkhardin // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2014. — N 12. — P. 104–112.
5. Rubakov, V.A. Hierarchy of fundamental constants [Text] / V.A. Rubakov // Advances in Physical Sciences. — 2007. — Vol. 177, N 4. — P. 407–413.

В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

УДК 624.012.45

Н.С. ПИЧКУРОВА, В.Д. КАРЕЛИН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ЗАМОДЕЛИРОВАННЫМИ ТРЕЩИНАМИ

В продолжение исследований железобетонных изгибаемых элементов с установленными пластины, имитирующими трещины в растянутой зоне, в статье приведены результаты испытаний железобетонных балок с девятью пластинами. Результаты эксперимента показали, что с помощью шага, высоты и количества пластин становится возможным управление процессом трещинообразования и, следовательно, напряженно-деформированным состоянием изгибаемых железобетонных элементов.

Ключевые слова: деформирование, трещинообразование, железобетонные изгибающие элементы, замоделированные трещины.

Среди важнейших композиционных материалов, применяемых в строительстве, железобетон уверенно занимает лидирующие позиции благодаря сочетанию уникальных свойств: длительности срока службы, огнестойкости, противостоянию агрессивной окружающей среде, малым эксплуатационным расходам на содержание конструкций, сейсмостойкости. Однако у этого материала есть основной недостаток — это раннее образование трещин в растянутой зоне и, как следствие этого, быстрый рост прогибов конструкций до предельной величины. Проблема раскрытия трещин имеет немалое значение для обеспечения совместного деформирования арматуры и бетона, отчего, в конечном итоге, зависит долговечность, жесткость и полное использование несущей способности железобетонных конструкций.

Для преодоления недостатка раннего трещинообразования в железобетонных конструкциях используют предварительное напряжение арматуры, позволяющее применять стали повышенной и высокой прочности. Однако данный принцип армирования требует качественной технологии производства и материальных затрат. В настоящее время появился более экономичный способ для регулирования напряженно-деформированного состояния (НДС) железобетонных изгибаемых элементов.

В 2006–2007 гг. были проведены экспериментальные исследования — испытания кратковременной нагрузкой железобетонных балок без предварительного напряжения с заранее организованными трещинами (физический эксперимент) [1, 2] и балок без армирования, изготовленных из пьезооптического оргстекла, с помощью поляризационно-оптического метода [3]. Результаты исследований показали, что предварительная организация трещин в процессе изготовления конструкции дает возможности для

© Пичкурова Н.С., Карелин В.Д., 2015

регулирования полей напряжений и препятствует бесконтрольному динамическому развитию стохастических трещин и быстрому росту прогибов конструкции.

В настоящее время экспериментальные работы в этой области продолжены. В данной статье представлены результаты исследований железобетонных перемычек марки 2ПБ 10-1П (серия 1.038.1-1) на действие одной сосредоточенной силы.

Образцы изготовлены из тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В15. Было испытано две серии образцов по три балки в каждой серии.

Серия № 1 — сплошные перемычки, поставляемые заводом-изготовителем на строительные площадки.

Серия № 2 — перемычки с замоделированными трещинами, которые представлены девятью оцинкованными пластинами, установленными в растянутой зоне в процессе изготовления конструкций. Толщина пластин — 0,5 мм; высота — 28 мм, что соответствует $0,2h$, где h — высота перемычки.

Количество пластин, установленных в образцах серии № 2, выбрано по результатам предыдущих испытаний [2], в которых по аналогичной схеме загружения на момент разрушения было выявлено в среднем девять трещин.

Размеры перемычек и шаг оцинкованных пластин показаны на рис. 1.

Опирание перемычек при испытании — шарнирное со свободным перемещением опор вдоль оси элемента. Статическая нагрузка приложена в середине пролета с помощью гидродомкрата ДУ2П. Нагружение проведено ступенями по 0,5 кН. Для определения прогибов использованы прогибомеры «ЛИСИ» (ПАО-6) с ценой деления 0,01 мм. Осадки опор изме-

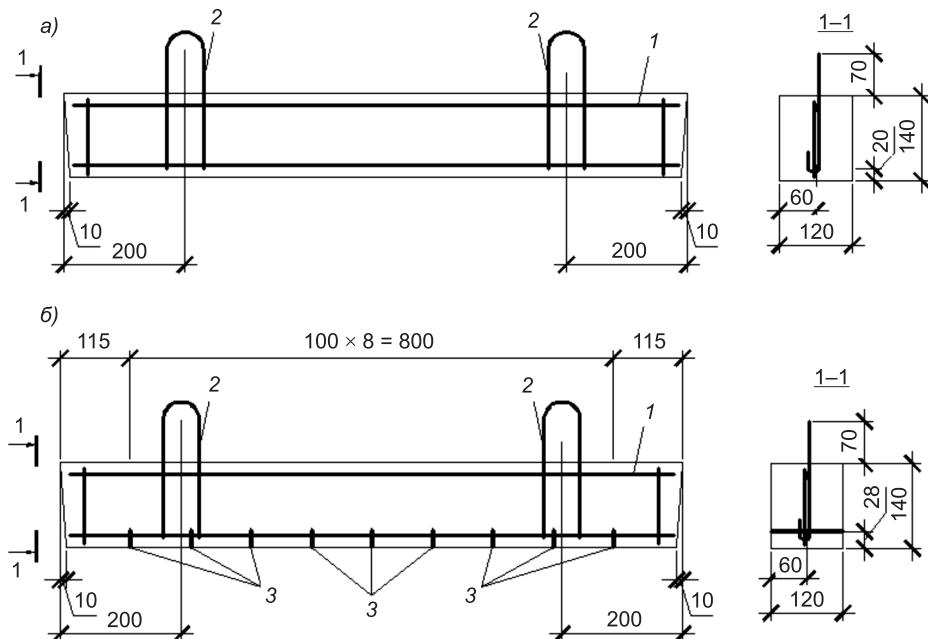


Рис. 1. Размеры сечения железобетонных перемычек и расстановка пластин
а — серия № 1; б — серия № 2; 1 — каркас ($\varnothing 4$ Вр-500); 2 — петля; 3 — установленные в процессе изготовления пластины ($h = 28$ мм)

рены при помощи индикаторов часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм. Относительные деформации зафиксированы тензорезисторами сопротивлением 307 Ом с базой 50 мм с помощью тензометрической станции «Динамика-2» и индикаторами часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм. Нулевые отсчеты по приборам были сняты перед началом загружения, рядовые отсчеты — после. Схема расстановки механических приборов и наклейки тензорезисторов приведена на рис. 2.

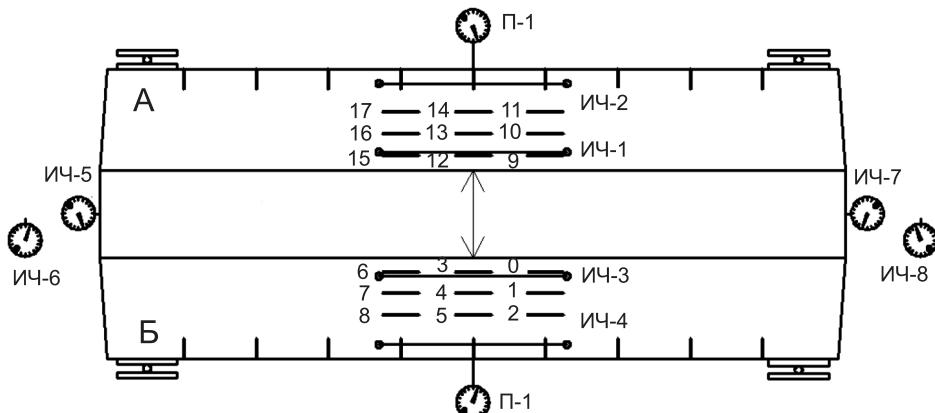


Рис. 2. Схема расположения измерительных приборов
ИЧ-1—ИЧ-8 — индикаторы часового типа; П-1 — прогибомер «ЛИСИ» (ПАО-6); 0—17 — тензорезисторы

Для каждого образца на всех ступенях загружения построены эпюры деформаций. На рис. 3 показаны эпюры средних деформаций при нагрузке 4 кН, что соответствует предразрушающей нагрузке.

Из рис. 3 видно, что деформации сжатого волокна в сечении 2 (непосредственно под приложенной силой) между сериями существенно отличаются: так в серии №1 $\varepsilon_b = 141,52 \cdot 10^{-5}$, в то время как в серии № 2 — $\varepsilon_b =$

$= 88,84 \cdot 10^{-5}$ (что в 1,5 раза ниже). При этом средняя высота сжатой зоны для перемычек серии № 1 составляет 34,62 мм, для перемычек серии № 2 — 35,89 мм. Следует отметить тот факт, что в серии № 2 трещина во всех трех перемычках прошла по сечению, расположенному на расстоянии 100 мм слева от сечения 1. Таким образом, шаг трещин составил 200 мм. Развитие трещин можно увидеть, оценив деформации сжатых волокон (см. рис. 3). Так, в сечении 1 $\varepsilon_b = 13,79 \cdot 10^{-5}$ при средней высоте сжатой зоны 42,04 мм, что еще раз показы-



Рис. 3. Распределение усредненных деформаций (10^{-5}) при нагрузке 4 кН
а — серия № 1; б — серия № 2

вает отсутствие трещины в этом сечении. Если бы трещина прошла здесь, то высота сжатой зоны стала бы существенно меньше, а деформации сжатого волокна увеличились.

Существенное различие в распределении деформаций в образцах серии № 1 и 2 можно объяснить с помощью энергетической теории, предложенной профессором В.М. Митасовым [4]. Согласно этой теории, мгновенный характер образования стохастической трещины сопровождается скачкообразным изменением прогиба элемента, напряжений в арматуре и подрастанием самой трещины. Наибольшая амплитуда скачка приходится на момент образования первой трещины. Этот момент сопровождается наибольшей высотой трещины, напряжениями в арматуре и прогибами элемента при условии постоянства внешнего нагружения. В момент образования трещины энергия растянутого бетона перераспределяется на арматуру, которая, исполняя роль тормозного элемента, сдерживает распространение трещины по сечению. Внезапное появление стохастической трещины сопровождается мгновенным изменением напряженного состояния сечения, которое носит динамический характер.

Мгновенное изменение НДС можно увидеть на рис. 4, когда при образовании первой трещины в образцах серии № 1 происходит резкое увеличение деформаций сжатого волокна и, следовательно, прогиба конструкции. Сущность образования стохастической трещины — это мгновенный разрыв бетона с сопровождающимися колебаниями.

В железобетонных перемычках серии № 2 трещина проходит по пластине и, соответственно, деформации и прогиб конструкций развиваются плавно, без резких скачков и динамических колебаний.

В образцах серии № 2 стохастических трещин не образовалось — все трещины (в количестве трех) прошли по установленным в растянутой зоне пластинам. Таким образом, во всех образцах шаг трещин был фиксированным. Ширина раскрытия трещин в перемычках серии № 2 существенно меньше, чем в образцах серии № 1.

В заключение следует отметить, что результаты экспериментальных исследований подтвердили предположение о том, что с помощью шага, высоты и количества замоделированных трещин можно существенно влиять на процесс трещинообразования изгибаемых железобетонных элементов.

Выводы. 1. В изгибаемых железобетонных элементах с замоделированными трещинами происходит перераспределение деформаций по всему сечению, что оказывает положительное влияние на работу конструкции.

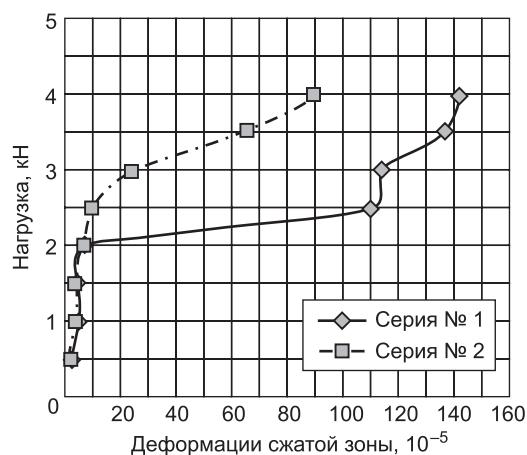


Рис. 4. Зависимость усредненных значений деформаций от нагрузки

2. При организации трещин с помощью заранее установленных в процессе изготовления пластин возможно регулирование количества стохастических трещин и, как следствие, жесткости конструкции в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михайлова, Н.С. Экспериментальные исследования железобетонных балок без трещин и с заранее намеченной трещиной [Текст] / Н.С. Михайлова // Изв. вузов. Строительство. — 2007. — № 4. — С. 110–113.
2. Митасов, В.М. Напряженно-деформированное состояние железобетонных балок с организованными трещинами [Текст] / В.М. Митасов, В.В. Адищев, Н.С. Пичкурова // Вестн. РААСН. — 2008. — Т. 1, № 13. — С. 222–227.
3. Албаут, Г.Н. Модельное исследование влияния организованных трещин на напряженное состояние балок [Текст] / Г.Н. Албаут, В.М. Митасов, Н.С. Пичкурова, М.В. Табанюхова // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 6. — С. 119–127.
4. Митасов, В.М. Основные положения теории сопротивления железобетона (энергетический вариант) : моногр. [Текст] / В.М. Митасов. — Новосибирск : Изд-во НГАСУ (Сибстрин), 2010. — 168 с.

*ПИЧКУРОВА Наталья Сергеевна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: nataliapich@mail.ru
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
КАРЕЛИН Виктор Дмитриевич, зав. лабораторией; E-mail: metskiz@stu.ru
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск*

Получено после доработки 24.04.15

Pichkurova Natalia Sergeevna, candidate of technical sciences, assistant professor;
E-mail: nataliapich@mail.ru, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia
Karelin Viktor Dmitriyevich, head of laboratory; E-mail: metskiz@stu.ru, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE REINFORCED CONCRETE BENDING ELEMENTS WITH REGULATORS STRESS-STRAIN STATE

Continuing studies of reinforced concrete bending elements with set plates that imitate the cracks occurring in the tensile area, in the article presents the test results of reinforced concrete beams with nine plates. The experimental results showed that using step, height and number plates, it becomes possible to manage the process of cracking and, consequently, the stress-strain state of bending reinforced concrete elements.

Key words: deformation, cracking, reinforced concrete bending elements, regulators stress-strain state.

REFERENCES

1. Mikhailova, N.S. Experimental investigation of reinforced concrete beams without cracks previously intended [Text] / N.S. Mikhailova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2007. — N 4. — P. 110–113.
2. Mitasov, V.M. Stress-strain state of reinforced concrete beams with organized cracks [Text] / V.M. Mitasov, V.V. Adishchev, N.S. Pichkurova // Bulletin of RAASN. — 2008. — Vol. 1, N 13. — P. 222–227.
3. Albaut, G.N. Model study of influence of organized cracks on stress condition of beams [Text] / G.N. Albaut, V.M. Mitasov, N.S. Pichkurova, M.V. Tabanyukhova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 6. — P. 119–127.
4. Mitasov, V.M. Fundamentals of reinforced concrete resistance theory (energy version) : monograph [Text] / V.M. Mitasov. — Novosibirsk : NGASU (Sibstrin) Publ., 2010. — 168 p.

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ¹

1. К рукописи, представляемой в редакцию на русском языке, необходимо приложить:
 - сопроводительное письмо руководства организации, откуда исходит рукопись;

к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи² за подписью автора или руководителя представляющей статью организацией. Плата за публикацию статей аспирантов не взимается. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала;

— рекомендацию соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);

— экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись;

— разрешение Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в программе Microsoft Word и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах, с приложением ее записи на CD (3", 5").

Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Суг размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

3. Порядок оформления статьи (см. макет статьи на Internet-сайте журнала):

— индекс УДК;

— инициалы, фамилии авторов;

— название статьи;

— аннотация (объемом до 0,3 страницы текста);

— ключевые слова;

— текст статьи;

— библиографический список;

— сведения об авторах: **фамилии, имена, отчества (полностью), ученые степени, звания** (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать); наименование учреждений, в которых работают авторы, на русском и **английском языках**;

— почтовые адреса, телефоны и e-mail авторов;

— название статьи на английском языке;

— аннотация на английском языке;

— ключевые слова на английском языке;

— библиографический список на английском языке.

4. На полях рукописи указываются места рисунков и таблиц (вставлять их в текст не нужно — это делается при верстке).

Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).

5. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах CorelDraw или Microsoft Word, записанных с расширением *.cdr (предпочтительно) или *.doc, фотографий — TIFF или JPEG. Надписи и цифры набирать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше 1 пт. Иллюстрации, в том числе фотографии, должны быть черно-белыми с хорошей проработкой деталей.

Рисунки должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (внести изменения, исправления, т.е. изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки).

Иллюстрации должны быть распечатаны в двух экземплярах, с подписями к ним. Размер иллюстрации не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4.

6. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

7. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. **Русские и греческие буквы** и индексы, а также **цифры**, **аббревиатуры** и **стандартные функции** (Re, cos и др.) набираются **прямым шрифтом**. **Латинские буквы** набирать **курсивом**. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв (*V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др., а также трудноразличимых букв и символов: *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п.) пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

¹ С дополнениями в соответствии с требованиями ВАК (выделены п/ж курсивом).

² На 2015 г. — из расчета 900 р. за 1 журнальную страницу.

(Окончание правил)

8. Следует применять физические величины, обозначения и единицы измерения в системе СИ(СИ).

9. В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати, составленные в соответствии с ГОСТ 7.80–2000, ГОСТ 7.1–03.

Примеры оформления можно найти на Internet-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу www.sibstrin.ru и www.izvuzstr.sibstrin.ru

10. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже публиковавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

11. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указываются ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». Доработанную статью необходимо присыпать в двух экземплярах с приложением ее записи в электронном виде. К доработанной рукописи обязательно прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается получение редакцией ее окончательного текста.

12. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректура статей авторам не представляется.*

13. Гонорар за опубликованные статьи *не выплачивается*.

14. Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ****«СТРОИТЕЛЬСТВО»****Журнал имеет разделы**

Строительные конструкции
Теория инженерных сооружений
Строительные материалы и изделия
Экономика и организация строительства
Автоматизация и технология строительного производства
Гидротехническое строительство
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов
Строительные и дорожные машины
Научные проблемы архитектуры и экологии
Научно-методический В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

На 1-е полугодие 2015 г.**каталожная цена за 6 месяцев — 3000 р.****цена отдельного номера — 500 р.**

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО
№ 5 (677) 2015

Научно-теоретический журнал

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