

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

№ 10–11 (694–695)
Октябрь–ноябрь 2016 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 28.11.16. Формат 70×108 1/16
Усл. печ. л. 10,50+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 2995

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

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Дукарт А.В. Верхняя оценка максимального отклонения линейной системы при периодическом возмущении с ограниченной энергией. Часть 2. Система с демпфированием	5
Тихомиров В.М., Сашошкин А.С. Математическая модель растяжения железобетонных элементов конструкций с учетом разрушения бетона	13

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Пименов Е.Г., Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Денисов А.С. Физико-химические исследования процессов снижения открытой пористости крупного заполнителя бетонов	22
---	----

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

Рафаильская Т.А., Мансуров Р.Ш., Ефимов Д.И., Косова Е.Ю. Проблемы энергетической эффективности систем централизованного теплоснабжения	32
---	----

Ким А.Н., Графова Е.О. Особенности очистки поверхностных стоков федеральной трассы «Кола»	49
Гириков О.Г. К расчету отстойников в схемах реагентной очистки сточных вод гальванических цехов.....	60
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Дончук Т.В., Поляков Е.Н. La Pedrera – доходный Дом Мила в Барселоне	68
Ануфриева Н.А. Региональные модели инфраструктурного развития комплексных предприятий на границе РФ	80
Смолина О.О. Методологические аспекты информационного моделирования объектов арборскульптуры	93
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Логанина В.И., Федосеев А.А., Рыжов А.Д. К вопросу о контроле качества сухих строительных смесей	101
Назиров Р.А., Подковырин В.С., Подковырина К.А. Определение температуры внутренней поверхности в наружных углах здания	106
Шапкина В.А., Огородов Л.И. Механические характеристики полиэтилена низкой плотности, используемого в противофильтрационных конструкциях	112

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

No. 10–11 (694–695)

October–November 2016

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

Editorial Board:

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

- Dukart A.V. Upper bound for the maximum amplitude of linear systems with periodic perturbation of limited energy. Part 2. System with damping 5
Tikhomirov V.M., Samoshkin A.S. Mathematical model of reinforced concrete structural elements tension with regard to fracture of concrete 13

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

- Pimenov E.G., Pichugin A.P., Khritankov V.F., Denisov A.S. Physico-chemical studies the process of reducing the open porosity of coarse aggregate concrete 22

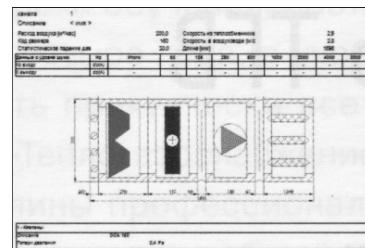
SANITARY ENGINEERING

- Rafalskaya T.A., Mansurov R.Sh., Efimov D.I., Kosova E.Yu. Problems of power efficiency of systems of the centralized heat supply 32

- Kim A.N., Grafova E.O. The features of surface waste water treatment from federal highway «Kola» 49

Girikov O.G. Calculation of settlers in schemes of reagent treatment of galvanizing plant wastewaters	60
SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE AND ECOLOGY	
Donchuk T.V., Polyakov E.N. La Pedrera – profitable House Mila in Barcelona	68
Anufrieva N.A. Infrastructure development of the complex entities on frontier of the Russian Federation	80
Smolina O.O. Methodological aspects of bim objects arborskulptury	93
SCIENTIFIC AND METHODICAL SECTION	
Loganina V.I., Fedoseev A.A., Ryzhov A.D. The issue of quality control dry mixes	101
Nazirov R.A., Podkovyrin V.S., Podkovyrina K.A. Interior surface temperature measurement in external corners of the building	106
Shapkina V.A., Ogorodov L.I. Mechanical properties of low density ethylene polymer, advanced for usage in impervious constructions	112

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ



В (1) обозначено:

p_0 – максимум возмущающего воздействия;

R – заданная безразмерная величина.

Вынужденные колебания рассматриваемой системы (см. рис. 1) описываются дифференциальным уравнением

$$m\ddot{x}(t) + k\dot{x}(t) + cx(t) = p(t), \quad (2)$$

где m , c и k – соответственно масса, квазиупругий коэффициент и коэффициент вязкого трения системы;

$x(t)$ – абсолютная координата массы m , отсчитываемая от положения статического равновесия системы при отсутствии внешнего воздействия.

Стационарное решение уравнения (2), описывающее установившийся режим колебаний системы при периодической возмущающей нагрузке произвольного вида, определяется выражением [3]

$$\begin{aligned} x(t) = & \frac{e^{-ht}}{m\omega_*} \left\langle \frac{1}{1 - 2e^{hT} \cos\omega_* T + e^{2hT}} \{ [e^{hT} \sin\omega_* (t+T) - \sin\omega_* t] \times \right. \\ & \times \int_0^T p(\tau) e^{h\tau} \cos\omega_* \tau d\tau - [e^{hT} \cos\omega_* (t+T) - \cos\omega_* t] \int_0^T p(\tau) e^{h\tau} \sin\omega_* \tau d\tau \} + \\ & \left. + \int_0^T p(\tau) e^{h\tau} \sin\omega_* (t-\tau) d\tau \right\rangle. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь $\omega_* = \sqrt{\omega^2 - h^2}$ – условная частота свободных затухающих колебаний;
 $\omega = \sqrt{c/m}$ – частота собственных колебаний;

$h = k/(2m)$ – коэффициент, характеризующий вязкость системы.

Отметим, что в качестве исходной функции отклонения системы $x(t)$ могут быть использованы и другие формы записи точного решения уравнения (2), приведенные, например, в [4–6].

Вследствие линейности рассматриваемой системы задачу отыскания верхнего предела ее максимального отклонения в установившемся режиме сформируем, как и в [1], следующим образом: среди функций $p(t)$, описывающих периодическое возмущающее воздействие и принадлежащих множеству $P(t)$, отвечающему условию (1), найти такую, которая доставляет максимум функционалу

$$J = \int_0^T x^2(\tau) d\tau. \quad (4)$$

Не нарушая общности решения задачи, совместим начало отсчета времени ($t = 0$) с точкой максимума функции отклонения массы системы в интервале $0 \leq t \leq T$. Вследствие периодичности функция $x(t)$ имеет максимум также при $t = T$. С помощью (3) выразим отклонение массы m на концах интервала, т.е. при $t = 0$ и $t = T$:

$$\begin{aligned} x(T) = x(0) = & \frac{1}{2m\omega_* (\operatorname{ch} hT - \cos\omega_* T)} \left[\sin\omega_* T \int_0^T p(\tau) e^{h\tau} \cos\omega_* \tau d\tau - \right. \\ & \left. - (\cos\omega_* T - e^{-hT}) \int_0^T p(\tau) e^{h\tau} \sin\omega_* \tau d\tau \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Так как рассматриваемая система линейна, отклонение ее массы при $t = T$ может быть выражено через функцию внешнего воздействия $p(t)$ [5, 6]:

$$x(T) = \int_0^T p(\tau) s(T, \tau) d\tau. \quad (6)$$

Сопоставляя выражения (5) и (6), найдем функцию $s(T, \tau)$ в виде

$$s(T, \tau) = \frac{e^{h\tau}}{2m\omega_* (\cosh T - \cos \omega_* T)} [\sin \omega_* (T - \tau) + e^{-hT} \sin \omega_* \tau]. \quad (7)$$

Подставим функцию $x(t)$ при $t = T$ в функционал (4). Тогда

$$J = \int_0^T \left[\int_0^T p(\tau) s(T, \tau) d\tau \right]^2 d\tau. \quad (8)$$

Для преобразования функционала (8) воспользуемся неравенством Коши–Буняковского [2]

$$\left[\int_0^T p(\tau) s(T, \tau) d\tau \right]^2 \leq \int_0^T p^2(\tau) d\tau \int_0^T s^2(T, \tau) d\tau, \quad (9)$$

из которого с учетом ограничения (1) следует очевидное неравенство

$$\left[\int_0^T p(\tau) s(T, \tau) d\tau \right]^2 \leq p_0^2 T R \varphi(T). \quad (10)$$

Здесь функция $\varphi(T)$ определяется выражением

$$\varphi(T) = \int_0^T s^2(T, \tau) d\tau. \quad (11)$$

Внесем в (11) функцию $s(T, \tau)$, определяемую выражением (7). Выполнив интегрирование, получим значение функции $\varphi(T)$, не зависящее от вида возмущающей периодической нагрузки $p(t)$:

$$\varphi(T) = \frac{h \sin \omega_* T + \omega_* \operatorname{sh} hT}{4h\omega_* (m\omega)^2 (\cosh T - \cos \omega_* T)}. \quad (12)$$

Верхняя граница отклонения массы системы соответствует условию равенства в выражении (10), исходя из которого, с учетом (12), найдем

$$x(T) = \frac{p_0}{2m\omega} \sqrt{\frac{T R (h \sin \omega_* T + \omega_* \operatorname{sh} hT)}{h \omega_* (\cosh T - \cos \omega_* T)}}. \quad (13)$$

При известной величине максимального отклонения (13) достаточно просто определяется функция возмущающей нагрузки $p(t)$, соответствующая этому отклонению и доставляющая максимум функционалу (8). Исходя из условия, что для линейной системы в выражении (9) выполняется равенство, функция внешнего воздействия $p(t)$ пропорциональна функции $s(T, \tau)$, т.е.

$$p(t) = ks(T, t). \quad (14)$$

Так как в этом случае в ограничении (1) также выполняется равенство, получим соотношение, из которого найдем величину коэффициента пропорциональности

$$k = p_0 \sqrt{\frac{RT}{\varphi(T)}}. \quad (15)$$

Подставляя далее (15) и (7) в (14), получим исковую функцию возмущающего воздействия в виде

$$p(t) = p_0 \{RT\omega^2 / [\omega_* (h \sin \omega_* T + \omega_* \operatorname{sh} hT)(\operatorname{ch} hT - \cos \omega_* T)]\}^{1/2} \times \\ \times e^{ht} [\sin \omega_* (T - t) + e^{-hT} \sin \omega_* t]. \quad (16)$$

Можно показать, что при отсутствии демпфирования в системе ($h = 0$, $\omega_* = \omega$) решения (13) и (16) совпадают с аналогичными результатами, полученными в первой части настоящей статьи для консервативной системы [1]. Отметим, что выполнение предельного перехода в (13) и (16) при $h \rightarrow 0$ существенно упрощается, если предварительно возвести выражения для $x(T)$ и $p(t)$ в квадрат, и далее для раскрытия неопределенности вида $\frac{0}{0}$ применим правило Лопиталя.

Воспользуемся решением (13) для анализа влияния параметров системы на характер резонансных кривых колебаний ее массы. Для этого введем безразмерные величины:

$$X = x / x_0, \quad \lambda = \theta / \omega, \quad \delta = h / \omega. \quad (17)$$

Здесь $x_0 = p_0 / c$ – статическое перемещение массы при действии максимальной возмущающей нагрузки;

$\theta = 2\pi / T$ – частота внешнего воздействия.

В обозначениях (17) максимальное отклонение массы системы, определяемое выражением (13), принимает вид

$$X = \sqrt{\frac{\pi R [\delta \sin(2\pi\nu/\lambda) + \nu \operatorname{sh}(2\pi\delta/\lambda)]}{2\nu\lambda\delta [\operatorname{ch}(2\pi\delta/\lambda) - \cos(2\pi\nu/\lambda)]}}, \quad (18)$$

где $\nu = \sqrt{1 - \delta^2}$.

Построенные в соответствии с (18) графики резонансных кривых $X = X(\lambda)$ в интервале частот $0,2 \leq \lambda \leq 1,2$ для некоторых значений безразмерных величин (17) и параметра R приведены на рис. 2 и 3, а для сравнения на рис. 2 – амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) колебаний массы системы, соответствующие гармоническому возмущающему воздействию (кривые 5 и 6). Они дают возможность оценить верхнюю границу отклонения массы m в установившемся режиме колебаний системы при любой частоте возмущающей нагрузки θ в рассматриваемом диапазоне изменения λ . Из представленных на рис. 2 и 3 резонансных кривых следует, что при периодическом воздействии произвольного вида в системе с демпфированием, как и для консервативной системы [1], резонансные состояния системы возникают как при совпадении частот свободных и вынужденных колебаний (основной резонанс), так и в тех случаях, когда их отношения кратны

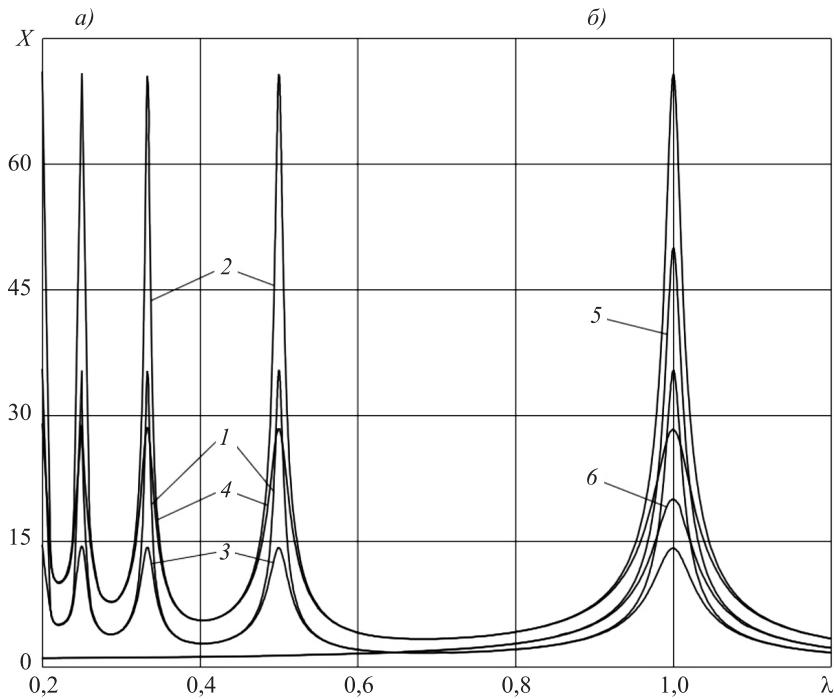


Рис. 2. Резонансные кривые колебаний массы системы

а) при произвольной периодической нагрузке ($1 - \delta = 0,01; R = 0,25$; $2 - \delta = 0,01; R = 1,0$; $3 - \delta = 0,025; R = 0,25$; $4 - \delta = 0,025; R = 1,0$); б) гармоническом воздействии ($5 - \delta = 0,01$; $6 - \delta = 0,025$)

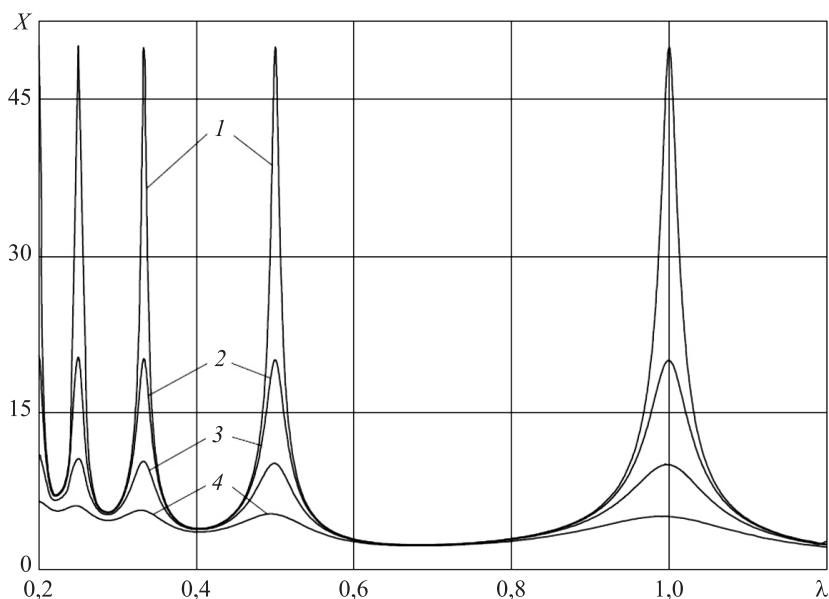


Рис. 3. Резонансные кривые колебаний массы осциллятора при $R = 0,5$ и значениях коэффициента демпфирования

$1 - \delta = 0,01$; $2 - \delta = 0,025$; $3 - \delta = 0,05$; $4 - \delta = 0,1$

целым числам, т.е. при $\omega/\theta = 1, 2, 3\dots$. При этом максимальные отклонения массы m на резонансных частотах внешнего воздействия (см. кривые 1–4 на рис. 2 и 3 на безразмерных частотах $\lambda = 0,2; 0,25; 0,33(3); 0,5; 1,0$) практически совпадают; исключение составляют кривые $X(\lambda)$ при больших значениях коэффициента демпфирования $\delta \geq 0,1$, для которых характерно увеличение резонансных пиков на небольших резонансных частотах (см., например, кривую 4 на рис. 3 при $\lambda = 0,2$ и $\lambda = 0,25$). Аналогичные результаты были получены в работе [7] при наложении ограничения на возмущающую нагрузку, в отличие от условия (1), по модулю, т.е. при $|p(t)| \leq p_0$.

Сопоставление резонансных кривых при фиксированных значениях коэффициента трения δ свидетельствует о том, что с ростом параметра R (см. рис. 2) ординаты функции $X(\lambda)$ также возрастают, причем их увеличение, как и в системе без демпфирования [1], происходит пропорционально квадратному корню из величины отношения соответствующих величин параметра R для любого значения безразмерной частоты воздействия λ :

$$X_k(\lambda) = \sqrt{R_k/R_j} X_i(\lambda),$$

где индексы i и k отвечают номерам сопоставляемых кривых.

Отметим, что при значениях параметра R в окрестности величины $R = 0,5$ и заданной величине коэффициента δ резонансные кривые колебаний массы m в зоне основного резонанса ($0,8 \leq \lambda \leq 1,2$) близки к соответствующим АЧХ, особенно в малой окрестности частоты основного резонанса $\lambda = 1$ (см., например: а) кривые 1 на рис. 3 и 5 на рис. 2; б) кривые 2 на рис. 3 и 6 на рис. 2).

В заключение отметим, что предлагаемый в настоящей статье способ отыскания верхней границы отклонения линейных колебательных систем может найти практическое приложение для оценки качества работы виброзащитных систем (виброизоляции, амортизации, гасителей и поглотителей колебаний и др.) при периодических возмущающих воздействиях сложного характера. Например, в системе «защищаемая конструкция – динамический гаситель», зачастую моделируемой двухмассовой системой с линейно-вязким или частотно-независимым трением, прежде всего важно дать оценку максимальному отклонению защищаемой конструкции. В этом случае в качестве функции $x(T)$ должно выступать отклонение главной массы (конструкции). Если оптимизация параметров гасителя производится из условия минимума хода его массы, то за функцию $x(T)$ следует принять относительное отклонение массы гасителя. Для решения этих задач в соответствии с предложенным подходом может быть использовано точное решение, описывающее стационарные колебания системы с двумя степенями свободы с демпфированием при произвольной периодической нагрузке, полученное автором в работе [8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Д у к а р т А.В. Верхняя оценка максимального отклонения линейной системы при периодическом возмущении с ограниченной энергией. Ч. 1. Система без затухания // Изв. вузов. Строительство. 2016. № 9. С. 18–24.
- С м и р н о в В.И. Курс высшей математики. М.: Наука, 1974. Т. 2. 656 с.

3. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. Л.: Политехника, 1990. 272 с.
4. Дукарт А.В. Стационарные режимы колебаний линейной неконсервативной системы при периодических воздействиях произвольного вида // Изв. вузов. Строительство. 2015. № 9. С. 5–11.
5. Израилович М.Я. Оценки – задачи о накоплении отклонений в прикладной теории колебаний. М.: ЛКИ, 2010. 144 с.
6. Розенвассер Е.Н. Колебания нелинейных систем. Метод интегральных уравнений. М.: Наука, 1969. 576 с.
7. Троицкий В.А. О накоплении периодических возмущений // Инженерный журнал. Механика твердого тела. 1966. № 5. С. 168–170.
8. Дукарт А.В. Об установившихся колебаниях двухмассовой системы с демпфированием при произвольной периодической возмущающей нагрузке // Изв. вузов. Строительство. 2009. № 3–4. С. 3–13.

Дукарт Адам Вилебальдович, д-р техн. наук, проф.
Московский государственный строительный университет

Получено 12.09.16

Dukart Adam Vilebaldovich, DSc, Professor
Moscow State University of Civil Engineering, Russia

UPPER BOUND FOR THE MAXIMUM AMPLITUDE OF LINEAR SYSTEMS WITH PERIODIC PERTURBATION OF LIMITED ENERGY

Part 2. SYSTEM WITH DAMPING

We consider the steady-state oscillations of a linear system with viscous friction at periodic load of an arbitrary form with a prescribed period and energy. Using the approach, proposed in the first part of the paper, the upper bound for the amplitude of the damped system and the corresponding excitation are found.

Key words: linear oscillator, viscous friction, arbitrary periodic load, integral constraint, maximum amplitude.

REFERENCES

1. Dukart A.V. Verkhnyaya otsenka maksimal'nogo otkloneniya lineynoy sistemy pri periodicheskem vosmushchenii s ograniченnoy energiey. Chast' 1. Sistema bez zatukhaniya [Upper bound for the maximum amplitude of linear systems with periodic perturbation of limited energy. Part 1. System without damping]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2016. No. 9. Pp. 18–24. (in Russian)
2. Smirnov V.I. Kurs vysshey matematiki. T. 2 [Treatise on higher mathematics. Vol. 2]. Moscow, Nauka, 1974. 656 p. (in Russian)
3. Panovko Ya.G. Osnovy prikladnoy teorii kolebaniy i udara [Basics of applied theory of vibrations and impact]. Leningrad, Politekhnika, 1990. 272 p. (in Russian)
4. Dukart A.V. Statsionarnye rezhimy kolebaniy lineynoy nekonservativnoy sistemy pri periodicheskikh vozdeysiyakh proizvol'nogo vida [Stationary vibrations of a linear nonconservative system with arbitrary periodic excitation]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2015. No. 9. Pp. 5–11. (in Russian)

5. Izrailevich M.Ya. Otsenki – zadachi o nakoplenii otkloneniy v prikladnoy teorii kolebaniy [Bounds for the problem of accumulation of deviations in the applied oscillation theory]. Moscow, LKI, 2010. 144 p. (in Russian)
6. Rozenwasser E.N. Kolebaniya nelineynykh sistem. Metod integral'nykh uravneniy [Oscillations in nonlinear systems. The method of integral equations]. Moscow, Nauka, 1969. 576 p. (in Russian)
7. Troitskiy V.A. O nakoplenii periodicheskikh vozmushcheniy [On the accumulation of periodic perturbations]. Inzhenernyy zhurnal. Mekhanika tvyordogo tela [Engineering Journal. Mechanics of Solids]. 1966. No. 5. Pp. 168–170. (in Russian)
8. Dukart A.V. Ob ustanovivshikhsya kolebaniyakh dvukhmassovoy sistemy s dempfirovaniem pri proizvol'noy periodicheskoy vozmushchayushchey nagruzke [On periodic oscillations of a two-mass damped system with an arbitrary exciting force]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2009. No. 3–4. Pp. 3–13. (in Russian)

УДК 691:620.17

В.М. ТИХОМИРОВ, А.С. САМОШКИН

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСТЯЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА

В работе представлена математическая модель, описывающая растяжение железобетонных элементов конструкций с учетом разрушения бетонной обоймы. Используется трехкомпонентная модель: арматура – контактный слой – бетон. Деформирование бетона описывается законом Друкера–Прагера, а контактного слоя – критерием Хубера–Мизеса. Процесс разрушения бетона моделируется на основе деформационного критерия. Разработанная модель реализована на численном примере растяжения бетонной призмы с центральным армированием. Результаты расчета удовлетворительно соответствуют экспериментальным данным.

Ключевые слова: математическая модель, железобетон, метод конечных элементов, разрушение бетона, критерии пластичности.

Процесс растяжения железобетонных элементов, как показывают многочисленные экспериментальные исследования, достаточно сложен. При его моделировании существует три возможных направления:

- феноменологическое, основанное на анализе большого массива экспериментальных данных [1–3];
- численное с применением упрощающих гипотез [4–6];
- аналитическое или численное описание реального процесса деформирования с учетом накопления повреждений [7–9].

Первый путь обладает известными принципиальными недостатками, что затрудняет его применение для новых типов арматуры. Реализация третьего подхода в настоящее время является слишком сложной и ограничена частными случаями. Оптимально второе направление исследований.

В настоящей работе проведено математическое моделирование процесса растяжения железобетона на основе численного решения уравнений механики деформируемого твердого тела методом конечного элемента (МКЭ). Численная реализация процедур МКЭ, необходимых для решения такой нелинейной задачи, производилась с использованием программного комплекса COSMOSM.

Для описания деформирования бетона предлагается использовать закон Друкера–Прагера [10], который учитывает различное сопротивление материала растяжению и сжатию. Нелинейные процессы, происходящие в зоне сцепления арматуры с бетоном, моделируются с помощью контактного слоя, который выделяется вокруг арматуры. Такой подход не описывает детальное распределение деформаций в малой зоне взаимодействия (сцепления) арматуры с бетоном, а напряженно-деформированное состояние железобетона

рассматривается как сплошная упругопластическая среда с идеальным контактом его составляющих.

Проведено численное моделирование растяжения железобетонной призмы с учетом образования поперечных трещин в бетоне.

1. Математическая модель растяжения армированного бетона предполагает рассматривать железобетонные элементы конструкций как трехкомпонентную сплошную среду: арматура – контактный слой – бетон. Контактный слой введен для описания нелинейных процессов, происходящих в области контакта при смещении арматуры относительно бетона в процессе нагружения [11].

Для каждого из компонентов необходимо выбрать математические модели материалов, которые позволяют корректно описать процесс их деформирования.

1.1. Арматура и бетон. В современных железобетонных конструкциях чаще всего применяется стальная арматура, напряжения в которой при эксплуатации не превышают предела текучести. Поэтому моделировать арматуру будем упругим телом.

Бетон – неоднородный материал, обладающий разными пределами прочности на растяжение и сжатие, при достижении которых не происходит разрушение. Это обусловлено его способностью при нагружении накапливать внутренние микродефекты, при достижении критического числа которых происходит макроразрушение бетона. Деформации в этот момент значительно выше, чем при достижении предела прочности. С учетом этих особенностей выберем математическую модель бетона.

Разное сопротивление растяжению и сжатию будем описывать функцией текучести Друкера–Прагера [10], которая представляет собой модифицированный критерий Кулона–Мора:

$$\sigma_i + \gamma\sigma_m = \sigma_y, \quad (1)$$

здесь σ_m – среднее напряжение;

σ_i – интенсивность нормальных напряжений.

$$\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3), \quad (2)$$

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]. \quad (3)$$

Постоянные γ и σ_y связаны с параметрами Кулона–Мора: углом внутреннего трения φ и коэффициентом когезии с следующими зависимостями

$$\gamma = \frac{6\sin\varphi}{3 + \sin\varphi}; \quad \sigma_y = \frac{6c\cos\varphi}{3 + \sin\varphi}. \quad (4)$$

Или через характеристики сопротивления бетона при одноосном растяжении σ_{ut} и сжатии σ_{uc} , получим

$$\sin\varphi = \frac{3(\sigma_{uc} - \sigma_{ut})}{3\sigma_{uc} + \sigma_{ut}}; \quad c = \frac{\sigma_{uc}\sigma_{ut}}{\sqrt{2\sigma_{ut}(3\sigma_{uc} - \sigma_{ut})}}. \quad (5)$$

При растяжении бетона нелинейное деформирование начинается, когда $\sigma_1 = \sigma_y = \sigma_{ut}$, что следует из соотношения (1). Разрушению, как отмечено ранее, будет соответствовать предельная деформация ε_{ut} :

$$\varepsilon_1 \geq \varepsilon_{ut}. \quad (6)$$

По данным В.И. Мурашова [12], предельная деформация при одноосном растяжении для бетона находится в диапазоне $1,5 \cdot 10^{-4} \leq \varepsilon_{ut} \leq 2,3 \cdot 10^{-4}$.

На рис. 1 приведена полная диаграмма деформирования бетона при одноосном растяжении-сжатии, соответствующая выбранной модели материала.

1.2. Контактный слой. На рис. 2 представлено поперечное сечение трехкомпонентной модели железобетонного элемента, где 1 – арматура, 2 – бетон, 3 – контактный слой.

В соответствии с исследованиями, проведенными в работах [13, 14], эту область можно моделировать упругопластическим материалом с диаграммой деформирования, представленной на рис. 3. Из численного эксперимента было определено, что размер контактного слоя, существенно не влияющий на деформирование окружающего бетона, $t_{bs} = d_{bs} - d_a \leq 0,05D$.

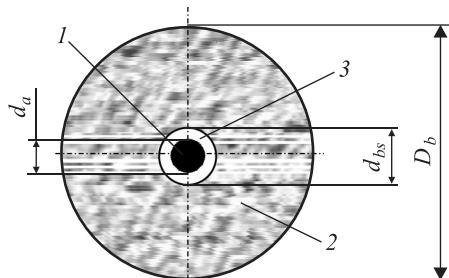


Рис. 2. Поперечное сечение модели железобетонного элемента

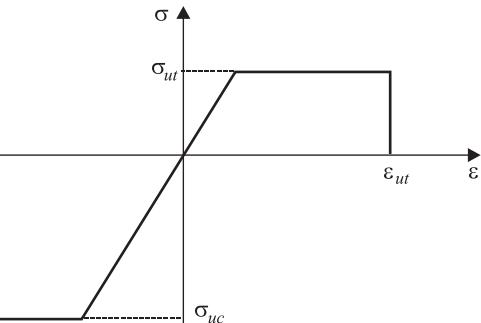


Рис. 1. Диаграмма деформирования бетона

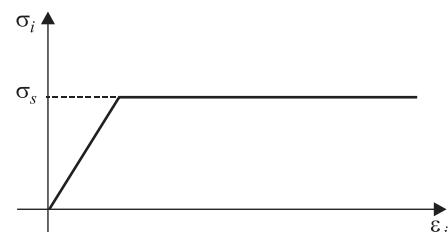


Рис. 3. Диаграмма деформирования контактного слоя

Критерием перехода контактного слоя в нелинейную стадию деформирования было выбрано условие пластиичности Хубера–Мизеса [11]:

$$\sigma_i = \sigma_s. \quad (7)$$

Критическое напряжение σ_s , при котором начинается нелинейное деформирование контактного слоя, можно определить по эмпирическому соотношению [13]

$$\sigma_s = 0,5B. \quad (8)$$

Здесь B – параметр, введенный в «технической теории сцепления» [1] для описаний взаимодействия арматуры с бетоном. В работе [13] его значение предлагается определять с помощью аппроксимации экспериментальных

данных зависимостью напряжений в арматуре σ_a от смещения нагруженного крайнего сечения арматуры Δ_a [1]:

$$\Delta_a = \frac{1}{\alpha} \left[\exp\left(\frac{\sigma_a}{k}\right) - 1 \right]; \quad k = \sqrt{\frac{Bp}{A_a \alpha} \frac{E_a}{(1 + n\mu)}}, \quad (9)$$

где $n = E_a/E_b$, $\mu = A_a/A_b$, E_a и E_b – модули упругости арматуры и бетона; A_a и A_b – площади сечения арматуры и бетона; p – периметр сечения арматурного стержня.

2. Численная реализация математической модели. Для проверки разработанной математической модели был рассмотрен железобетонный элемент конструкции, экспериментальные исследования которого представлены в работе [4].

Образец представляет собой бетонную призму с размерами $72 \times 72 \times 600$ мм (бетон марки В30), армированную стальным стержнем $\varnothing 12$ мм А400 (рис. 4).

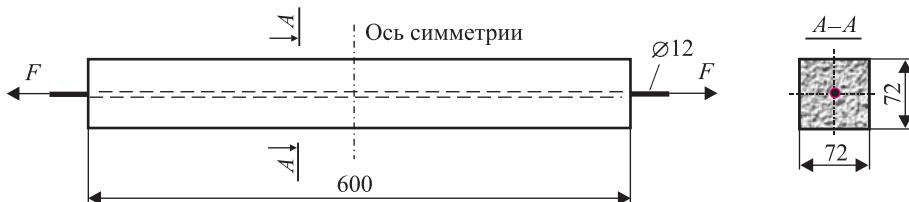


Рис. 4. Схема нагружения призматического образца

На рис. 5 светлыми точками показаны экспериментальные данные. При $\sigma_a \leq 100$ МПа бетон работает упруго [4]. В этом диапазоне нагрузок, используя соотношение (9), была проведена аппроксимация результатов эксперимента. После чего получено значение параметра сцепления $B = 12$ МПа. Поэтому при численном моделировании, в соответствии с формулой (8), характеристика контактного слоя $\sigma_s = 6$ МПа.

При механических характеристиках бетона: $\sigma_{uc} = 30$ МПа; $\sigma_{ut} = 2,0$ МПа; $E_b = 3 \cdot 10^4$ МПа и $\nu_b = 0,2$, в соответствии с выражением (5), получим

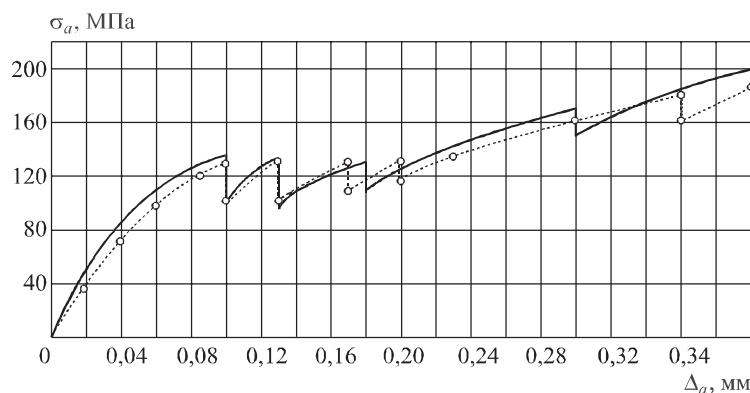


Рис. 5. Результаты численного и физического моделирования растяжения призматического образца

$\varphi = 62^\circ$ и $c = 2,75$ МПа, которые были использованы для численной реализации критерия Друкера–Прагера в программном комплексе COSMOSM.

Величина предельной деформации растяжения $\varepsilon_{ut} = 2,3 \cdot 10^{-4}$ была выбрана из условия, что первая трещина в модели образуется при перемещении $\Delta_a = 0,1$ мм, которому соответствует первое падение нагрузки в эксперименте (см. рис. 5).

При численной реализации объемная задача была заменена на осесимметричную, а призматическая бетонная обойма из условия равенства площадей поперечного сечения представлена круговым цилиндром диаметром $D_b = 81,3$ мм, соответственно размер контактного слоя t_{bs} был выбран 1 мм. Учитывая условие симметрии, была рассмотрена модель половины образца длиной 300 мм, которая разбивалась на 21 594 четырехузловых конечных элемента типа Plane 2D. На рис. 6 представлена конечно-элементная сетка модели.

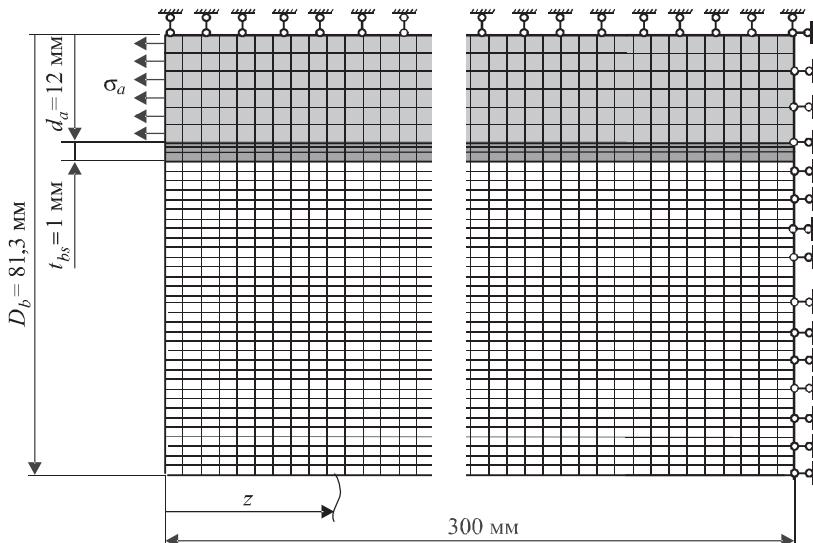


Рис. 6. Конечно-элементная сетка

Решение полученной физически нелинейной задачи деформирования железобетона строилось на интегрировании разрешающих уравнений МКЭ, полученных в результате применения пошагово временной процедуры с использованием методики управления решением по перемещениям. Уточнение решения на каждом временном шаге проводилось итерационным методом Ньютона–Рафсона.

Моделирование роста трещин производилось по схеме исключения разрушенных элементов (kill element) [15]. При этом в соответствии с выбранным критерием для элементов, где деформация ε_1 достигала предельного значения ε_{ut} , формировалась матрица жесткости с малыми коэффициентами.

На рис. 5 экспериментальные данные соединены пунктирной линией, а результаты расчета осесимметричной задачи представлены сплошной линией. Скачки (падение нагрузки) в результатах соответствуют образованию макротрещин в сечениях бетонной обоймы. Видно, что первые две

трещины образовались в полном соответствии с экспериментально наблюдаемыми моментами разрушения. Следующие расчетные трещины возникли с заметным запаздыванием по отношению к эксперименту. Это объясняется тем, что в выбранной модели касательные усилия в области нелинейного контакта распределены равномерно, и при уменьшении длины бетонной обоймы в результате ее разрушения неверно описывают процесс ее деформирования.

На рис. 7 представлены расчетные графики распределения напряжений по длине арматуры. Здесь отсчет текущей координаты z производился от нагруженного конца арматуры.

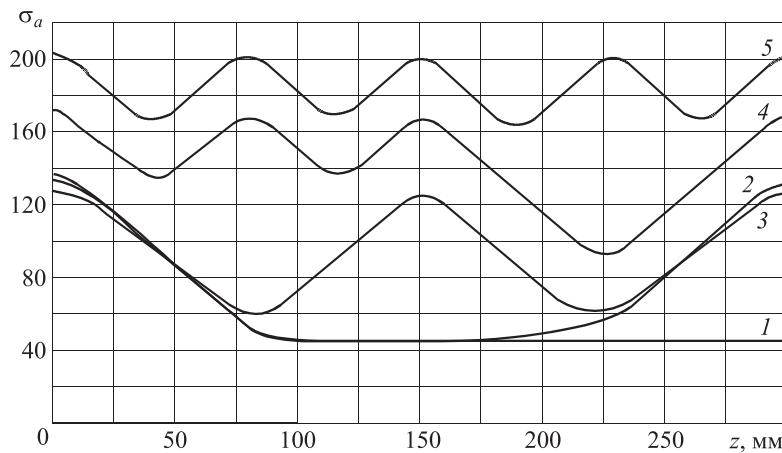


Рис. 7. Расчетное распределение напряжений по длине арматуры

Кривая 1 соответствует моменту, предшествующему образованию 1-й трещины ($z = 300$ мм); кривая 2 – 2-й ($z = 148$ мм); кривая 3 – 3-й ($z = 79$ мм); кривая 4 – образованию 4-й трещины ($z = 228$ мм); кривая 5 – максимальной нагрузке $\sigma_a = 201$ МПа. В результате бетонная обойма разрушилась на практически равные блоки по 75 мм каждый.

На рис. 7 видно, что кривые 1 и 2 имеют достаточно протяженные участки, где напряжения в арматуре σ_a постоянны. В этих зонах деформации бетона ε_b также постоянны и равны ε_{ut} . Это свидетельствует о равновероятном положении места зарождения трещины, и в реальной железобетонной конструкции трещины образовывались бы в сечениях ослабленных технологическими дефектами. При расчете разрушение моделировалось следующим образом: первая трещина – на оси симметрии модели, вторая – посередине участка равномерного деформирования.

Выводы. Разработана математическая модель растяжения железобетонных элементов конструкций.

В результате исследований показано:

- растяжение армированного бетона адекватно описывается трехкомпонентной моделью: арматура – контактный слой – бетон;
- критерий Друкера–Прагера хорошо моделирует деформирование растянутого бетона при численной реализации данной задачи;

- применение нелинейной модели контактного слоя и деформационного критерия образования трещин позволило воспроизвести разрушение бетона;
- разработанные алгоритмы расчета дают результаты, удовлетворительно соответствующие экспериментальным данным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Х о л м я н с к и й М.М. Бетон и железобетон. Деформативность и прочность. М.: Стройиздат, 1997. 569 с.
2. Д и а к о в с к и й В.Г. Деформационные характеристики и расчет усилий взаимодействия арматурных канатов с бетоном: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 1988. 20 с.
3. О а т у л А.А., К у т и н Ю.Ф. Экспериментальное определение дифференцированного закона сцепления стержневой арматуры с бетоном // Исследования по бетону и железобетону: сб. тр. ЧПИ. Челябинск, 1967. Вып. 46. С. 72–84.
4. De Groot A.K., Kausters G.M.A. Numericall modelling of bond-slip behavior // Heron reports 1B. 1981. Vol. 26, No. 16. P. 89.
5. А с т а х о в Ю.В. Экспериментально-расчетная оценка взаимодействия стальной канатной и стеклопластиковой арматуры с бетоном: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2002. 105 с.
6. Б е н и н А.В., С е м е н о в А.С., С е м е н о в С.Г., М е л ь н и к о в Б.Е. Математическое моделирование процесса разрушения сцепления арматуры с бетоном. Ч. 2. Модели без учета несплошности соединения // Инженерно-строит. журн. 2014. № 1. С. 23–39.
7. Н а з а р е н к о П.П. Контактное взаимодействие арматуры и бетона при кратковременном нагружении. Самара: Изд-во СамГУПС, 2012. 171 с.
8. Lundgren K., Gylltoft K. A model for the bond between concrete and reinforcement // Magazine of Concrete Research. 2000. No. 52 (1). P. 53–63.
9. Brisotto D., Bittencourt E., Bessa V. Simulation bond failure in reinforced concrete by a plasticity model // Computers and Structures. 2012. Vol. 106–107. P. 81–90.
10. Drucker D.C., Prager W. Soil mechanics and plastic analysis or limited design // Quarterly of Applied Mathematics. 1952. Vol. 10, No. 2. P. 157–165.
11. Т и х о м и р о в В.М., А с т а х о в Ю.В., С а м о ш к и н А.С. Исследование стадии обжатия элемента бетонной конструкции, армированной канатом // Изв. вузов. Строительство. 2015. № 6. С. 5–13.
12. М у р а ш о в В.И. Трещиноустойчивость, жесткость и прочность железобетона (основы сопротивления железобетона). М.: Изд-во М-ва стр-ва предприятий машиностроения, 1950. 268 с.
13. Т и х о м и р о в В.М., А с т а х о в Ю.В., С а м о ш к и н А.С. Моделирование упругопластического сцепления арматуры с бетоном // Изв. вузов. Строительство. 2015. № 2. С. 103–109.
14. Т и х о м и р о в В.М., А с т а х о в Ю.В. Экспериментально-численное моделирование взаимодействия стальной и базальтопластиковой арматуры с бетоном // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 11–12. С. 128–137.
15. COSMOSM User Guide. Vol. 4: Advanced Modules. Part 1. NSTAR – Santa Monica (CA) Structural Research and Analysis Corporation, 2007. 328 p.

Тихомиров Виктор Михайлович, д-р. техн. наук, проф.; Е-mail: twm@stu.ru
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Самошкин Антон Сергеевич, асп.; E-mail: ASSamoshkin.stu@gmail.com
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Получено после доработки 16.09.16

Tikhomirov Victor Mikhaylovich, DSc, Professor; E-mail: twm@stu.ru

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Samoshkin Anton Sergeevich, Post-graduate Student;

E-mail:ASSamoshkin.stu@gmail.com

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

MATHEMATICAL MODEL OF REINFORCED ONCRETE STRUCTURAL ELEMENTS TENSION WITH REGARD TO FRACTURE OF CONCRETE

The paper introduces a mathematical model describing the tension of concrete structural elements taking into account the destruction of concrete. Use a three-layer model: armature – contact layer – concrete. Nonlinear deformation concrete relations described Drucker–Prager. Nonlinear deformation contact layer relations criterion Huber–Mises. The fracture process of concrete is modeling on basis of the deformation criterion. The developed model is implemented in the numerical example tension prismatic design element with central reinforcement. The calculation results are akin to the experimental data.

K e y w o r d s: mathematical model, reinforced concrete, finite element method, fracture of concrete, yield criterions.

REFERENCES

1. Kholmanskiy M.M. Beton i zhelezobeton. Deformativnost' i prochnost' [Concrete and reinforcing concrete. The deformability and strength]. Moscow, Stroyizdat, 1997. 569 p. (in Russian)
2. Dikovskiy V.G. Deformatsionnye kharakteristiki i raschet usiliy vzaimodeystviya armaturnykh kanatov s betonom [Deformation characteristics and analysis forces of contacting wire rope reinforcement with concrete: autor. diss. ... kand. tech. of sciences]. Novosibirsk, 1988. 20 p. (in Russian)
3. Oatal A.A., Kutin Yu.F. Eksperimental'noe opredelenie differentsirovannogo zakona stsepleniya sterzhnevoy armatury s betonom [Experimental determination of differential law bond reinforcement bar with concrete]. Issledovaniya po betonu i zhelezobetonu [Research on concrete and reinforced concrete]. Chelyabinsk, 1967. Vol. 46. Pp. 72–84. (in Russian)
4. De Groot A.K., Kausters G.M.A. Numericall modelling of bond-slip behavior. Heron reports 1B. 1981. Vol. 26. No. 16. P. 89.
5. Astakhov Yu.V. Eksperimental'no-raschetnaya otsenka vzaimodeystviya stal'noy kanatnoy i stekloplastikovoy armatury s betonom: dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk [Experimental estimate of interaction of the steel wire rope reinforcement and fiberglass reinforcement with concrete: diss. ... kand. tech. of sciences]. Novosibirsk, 2002. 105 p. (in Russian)
6. Benin A.V., Semenov A.S., Semenov S.G., Melnikov B.E. Matematicheskoe modelirovanie protsessa razrusheniya stsepleniya armatury s betonom. Chast' 2. Modeli bez ucheta nesploshnosti soedineniya [The Simulation of Bond Fracture between Reinforcing Bars and concrete. Part 2. Models without taking the Bond Discontinuity into account]. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal [Magazine of Civil Engineering]. 2014. No. 1. Pp. 23–39. (in Russian)

7. Nazarenko P.P. Kontaktnoe vzaimodeystvie armatury i betona pri kratkovo-vremennom nagruzhenii [The contact interaction of fiber reinforcement and concrete under short-loading]. Samara, 2012. 171 p. (in Russian)
8. Lundgren K., Gylltoft K. A model for the bond between concrete and reinforcement. Magazine of Concrete Research, 2000, No. 52 (1). Pp. 53–63.
9. Brisotto D., Bittencourt E., Bessa V. Simulation bond failure in reinforced concrete by a plasticity model. Computers and Structures. 2012. Vol. 106–107. Pp. 81–90.
10. Drucker D.C., Prager W. Soil mechanics and plastic analysis or limited design. Quarterly of Applied Mathematics. 1952. Vol. 10, No. 2. Pp. 157–165.
11. Tikhomirov V.M., Astakhov Yu.V., Samoshkin A.S. Issledovanie stadii obzhatiya elementa betonnoy konstruktsii, armirovannoy kanatom [Analysis compressing stage of the stressed concrete construction by cord-reinforced]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2015. No. 6. Pp. 5–13. (in Russian)
12. Mursashov V.I. Treshchinoustoychivost', zhestkost' i prochnost' zhelezobetona (osnovy sопротивленiya zhelezobetona) [Crack resistance, toughness and durability of reinforced concrete (concrete foundations resistance)]. Moscow, Publisher Ministry of Construction engineering enterprises, 1950. 268 p. (in Russian)
13. Tikhomirov V.M., Astakhov Yu.V., Samoshkin A.S. Modelirovaniye uprugoplasticheskogo stsepleniya armatury s betonom [The modeling of elastic-plastic interaction fiber reinforcement with concrete]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2015. No. 2. Pp. 103–109. (in Russian)
14. Tikhomirov V.M., Astakhov Yu.V. Eksperimental'no-chislennoe modelirovaniye vzaimodeystviya stal'noy i bazal'toplastikovoy armatury s betonom [The experimental-numerical modelling of interaction steel and basaltic fiber reinforcement with concrete]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2010. No. 11–12. Pp. 128–137. (in Russian)
15. COSMOSM User Guide. Vol. 4: Advanced Modules. Part 1. NSTAR – Santa Monica (CA) Structural Research and Analysis Corporation, 2007. 328 p.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ



УДК 691.327 : 666.973

Е.Г. ПИМЕНОВ, А.П. ПИЧУГИН, В.Ф. ХРИТАНКОВ, А.С. ДЕНИСОВ

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СНИЖЕНИЯ ОТКРЫТОЙ ПОРИСТОСТИ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ БЕТОНОВ

Снижение расхода цемента, значений и коэффициента теплопроводности в легком бетоне может быть достигнуто за счет уменьшения открытой пористости крупного заполнителя путем обработки защитными пленкообразующими композициями. Приводятся результаты простого и доступного метода фотоэлектролориметрических исследований, позволивших изучить адгезию защитных композиций к минеральной составляющей и оптимизировать составы и технологию защиты крупного заполнителя шлака, что способствовало увеличению теплозащитных качеств крупнопористого бетона с интегральной структурой.

Ключевые слова: пористая структура заполнителя, полимерные и полимерсиликатные композиции, адсорбция красителя, водные растворы красителей, адгезия защитных композиций.

Легкие бетоны десятки лет эффективно используются в строительстве, а уменьшение открытой пористости крупного заполнителя, которое может быть достигнуто путем обработки полимерными или пленкообразующими композициями, является важным моментом их подготовки. Такой прием способствует снижению расхода цементного теста и водоцементного отношения, существенно уменьшает коэффициент теплопроводности [1–5]. Кроме того, многочисленными опытами различных исследователей установлено, что прочность цементного бетона из пористого крупного заполнителя, обработанного полимерным связующим, становится значительно выше. Дополнительным эффектом является повышение водо- и трещиностойкости. Полимерная обработка пористых материалов не только существенно увеличивает прочностные показатели материала, но и может значительно повысить адгезионную прочность контактных зон [6–8].

В целях обеспечения надежного сцепления крупного пористого заполнителя из шлака с пониженными качественными характеристиками были разработаны специальные мероприятия по предварительной обработке и усилению их физико-механических свойств. В качестве защитных композиций использовались жидкое стекло, полиметилметакрилат, поливинил-

© Пименов Е.Г., Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Денисов А.С., 2016

ацетат (ПВА), латекс СКС-65 ГП, фенолоформальдегидные, акриловые и эпоксидные смолы. Необходимо было выявить оптимумы расхода защитных композиций или найти рациональное техническое решение по организации комплексного воздействия на поровую структуру заполнителей бетона с целью снижения его открытой пористости [8–11].

Была использована методология фотоэлектроколориметрических исследований для изучения адгезии защитных композиций и полимера к минеральной составляющей. Применение этого метода объясняется простотой и доступностью проведения данных видов исследований и достаточной степенью точности определений. Методика испытаний представлялась в следующей последовательности: фрагменты минерального заполнителя без обработки и покрытые полимерными и другими составами предварительно измельчались до фракции 2,5–5,0 мм; точно также готовились отверженные в виде отливок полимерные составы и композиции; навеска материала 1 г (в трех параллелях) встряхивалась в течение 15 мин в 20 мл раствора красителя. После выдерживания в течение 24 ч определялась концентрация раствора, для чего отбиралась проба в 10 мл раствора и помещалась в кювету фотоэлектроколориметра [12, 13].

Адсорбция красителя определялась по изменению оптических плотностей, измерение которых производилось на фотоэлектроколориметре ФЭК-56, и вычислялась по формуле:

$$a = \frac{D_0 - D_1}{D_0} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где D_0 – исходная плотность раствора красителя;

D_1 – равновесная плотность раствора красителя после контакта с полимерной смесью или минеральным материалом.

Важным вопросом при проведении данных исследований был правильный выбор красителя, который должен быть инертным по отношению к пропитывающей композиции, т.е. не адсорбироваться на поверхности ее частиц. С этой целью были опробованы следующие водные растворы красителей: конго красный, родамин БЖ, родамин С, метиленовый синий и метиловый фиолетовый. Исследования по выявлению инертного красителя показали, что наиболее приемлемым видом является водный раствор метиленового синего, поэтому все дальнейшие определения производились на этом красителе.

Были испытаны минеральные, полимерминеральные и затвердевшие защитные композиции, состоящие из полимерного связующего и различных минеральных составляющих, предварительно отобранных от разного крупного заполнителя. Подготовленные фрагменты отверждались в нормальных температурно-влажностных условиях в течение 24 ч.

Для выяснения величины и характера изменения физико-механических характеристик подготовленные пробы подвергались воздействиям агрессивных сред по ускоренному режиму. Такая обработка давала возможность нарушать сцепление минеральной фазы с полимером и получать открытую поверхность минерального составляющего, что способствует интенсивной адсорбции красителя из раствора. В табл. 1 приведены результаты адсорбции из водного раствора метиленового синего полимерминеральных смесей после обработки некоторыми химическими реагентами. Адсорбция красите-

Таблица 1. Адсорбция полимерминеральных композиций соединений из раствора метиленового синего после пребывания в химической среде

Заполнитель и защитная композиция	Адсорбция минеральной фазы a_0 , %	Адсорбция красителя смесью, %				
		до пребывания в среде a_n	после пребывания в химической среде			
			10%-я серная кислота	20%-я соляная кислота	50%-й едкий калий	ацетон
Шлак-1	77,09					
	+ ПВА	—	10,30	81,52	40,09	19,24
	+ Жидкое стекло (ЖС)	—	18,45	64,67	58,93	36,21
	+ Латекс	—	17,88	78,89	64,76	26,92
	+ Смола ЭД	—	4,56	11,23	13,54	8,07
	+ ПВА + ЖС	—	7,87	16,12	22,18	13,14
Шлак-2	76,71					
	+ ПВА	—	10,06	72,34	35,67	17,77
	+ ЖС	—	13,77	68,97	49,94	42,55
	+ Латекс	—	15,918	84,70	58,07	31,29
	+ Смола ЭД	—	3,75	9,44	11,40	6,35
	+ ПВА + ЖС	—	3,78	19,42	22,66	10,48
Шлак-3	73,34					
	+ ПВА	—	1,45	38,3	40,50	21,85
	+ ЖС	—	8,48	27,06	49,87	34,19
	+ Латекс	—	12,43	35,98	34,12	28,67
	+ Смола ЭД	—	2,44	13,54	15,84	16,09
	+ ПВА + ЖС	—	5,23	34,18	47,13	25,99
Керамзит	49,52					
	+ ПВА	—	2,23	53,24	40,87	24,83
	+ ЖС	—	8,77	54,18	45,65	26,68
	+ Латекс	—	22,23	67,97	71,21	31,05
	+ Смола ЭД	—	3,01	12,85	6,06	11,02
	+ ПВА + ЖС	—	7,49	32,69	19,90	32,17
Цементный раствор	44,1					
	+ ПВА	—	8,04	26,81	20,07	18,82
	+ ЖС	—	5,33	43,17	34,43	19,39
	+ Латекс	—	7,53	34,56	26,15	35,94
	+ Смола ЭД	—	1,27	8,82	6,05	8,09
	+ ПВА + ЖС	—	4,05	23,12	14,74	17,98
ПВА	0,06	0,0	0,5	0,0	0,0	4,90
Жидкое стекло	0,22	0,1	14,9	11,7	10,2	24,80
Латекс	0,07	1,5	7,5	1,0	2,4	9,40
Смола ЭД	0,01	1,75	2,4	3,8	1,5	1,30
ПВА + ЖС	0,03	0,63	15,1	4,5	3,0	5,50

ля минеральными фрагментами шлака, строительного раствора и керамзита была определена заранее.

Анализ результатов свидетельствует о наибольшей агрессивности ацетона, поэтому в дальнейших исследованиях он был принят в качестве основного реагента при определении относительной величины адгезии, при расчете которой были приняты те же положения, что и в работе [13]. Краситель метиленовый синий не поглощается большинством защитных композиций, т.е. его адсорбция полимерминеральной смесью связана в основном только со свойствами и активностью заполнителя. Тогда отношение адсорбции красителя смесями до нахождения в агрессивной среде (a_n) и после пребывания в агрессивной среде (a_0) будет являться открытой поверхностью минеральной фазы в защищенном крупном пористом заполнителе:

$$S_o = \frac{a_n}{a_o} 100 \%; \quad (2)$$

$$S_o^1 = \frac{a_n^1}{a_o} 100 \%, \quad (3)$$

где S_o и S_o^1 – открытая поверхность минеральной фазы в полимерной смеси до и после обработки композиций в ацетоне.

Относительная величина показателя адгезии А была определена по формуле

$$A = 100 - (S_o^1 - S_o) \quad \text{или} \quad A = 100 - \Delta S_o, \%, \quad (4)$$

где $\Delta S = S_o^1 - S_o$ – приращение открытой поверхности минеральной фазы после пребывания в химической среде.

Результаты определения показателя адгезии защитных покрытий к различным минеральным материалам после пребывания в течение 1 ч в ацетоне представлены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели адгезии защитных композиций к минеральной фазе после обработки ацетоном

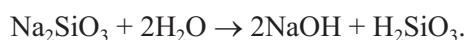
Материал и пропитывающая композиция	Адсорбция минеральной фазы a_o , %	Открытая поверхность наполнителя		Приращение открытой поверхности $\Delta S_o = S_o^1 - S_o$, %	Адгезия $A = 100 - \Delta S_o$, %
		до пребывания S_o	после пребывания S_o^1		
Шлак-1 + ПВА + ЖС + Латекс + Смола ЭД + ПВА + ЖС	77,09	10,30	97,32	87,02	12,98
	–	18,45	87,41	68,96	31,04
	–	17,88	79,78	61,90	38,10
	–	4,57	24,65	20,08	79,92
	–	6,98	57,87	50,89	49,11
	–	–	–	–	–
Шлак-2 + ПВА + ЖС + Латекс + Смола ЭД + ПВА + ЖС	76,71	10,06	83,62	73,56	26,44
	–	13,77	76,25	62,48	37,52
	–	15,91	71,83	55,92	44,08
	–	3,75	19,74	15,99	84,01
	–	3,78	49,35	45,57	54,43
	–	–	–	–	–
Шлак-3 + ПВА + ЖС + Латекс + Смола ЭД + ПВА + ЖС	73,34	11,45	87,52	76,07	23,93
	–	18,48	93,14	74,66	25,34
	–	22,43	96,28	73,85	26,15
	–	12,44	28,17	25,73	74,27
	–	15,23	74,34	59,11	40,89
	–	–	–	–	–
Керамзит + ПВА + ЖС + Латекс + Смола ЭД + ПВА + ЖС	49,52	2,23	69,33	67,10	32,90
	–	8,77	78,12	69,35	30,65
	–	22,23	73,87	51,64	48,36
	–	3,01	23,96	20,95	79,05
	–	7,49	52,55	45,06	54,94
	–	–	–	–	–
Цементный раствор + ПВА + ЖС + Латекс + Смола ЭД + ПВА+ЖС	44,1	8,04	49,31	41,27	58,73
	–	5,33	45,66	40,33	59,67
	–	7,53	67,19	59,66	40,34
	–	1,27	16,94	15,67	84,33
	–	4,05	48,98	44,94	55,06
	–	–	–	–	–

Они свидетельствуют о различной адгезионной способности защитных составов и композиций к минеральной фазе крупного пористого заполнителя и, следовательно, различной степени защиты открытой пористой структуры материала. Наибольшей адгезией обладают эпоксидные составы, которые имеют повышенные пропитывающие и адгезионные характеристики практически ко всем исследованным минеральным фазам. Наименьшей адгезией к минеральным стеновым материалам характеризуются латекс, жидкое стекло и ПВА. Причем низкая адгезионная способность у этих пропитывающих композиций объясняется, видимо, химическим составом. Низкая адгезия к шлаку вызвана наличием огромной внешней поверхности зерен шлака, ухудшающей контакт пленки и способствующей значительному понижению адгезионной прочности. Данное предположение подтверждается результатами целого ряда исследований [4–7].

Рассматривая детально результаты исследований, можно сделать вывод, что любой из вышеперечисленных пропитывающий состав положительно влияет на улучшение структуры материала и, следовательно, может быть применим для упрочнения в легком крупнопористом бетоне.

Кроме того, отмечено, что даже частичная пропитка на 0,1–0,2 мм гранул крупного заполнителя создает благоприятные условия по увеличению его прочности, что обеспечивает надежную работу всей стеновой конструкции ограждений. Сравнение результатов фотоэлектроколориметрических исследований с физико-механическими испытаниями дает право считать защиту крупного пористого заполнителя достаточно важным и эффективным мероприятием, повышающим показатели прочности и других свойств в сочетании с высокой адгезией. Авторами подана заявка на патент по разработанной системе ускоренного проведения процедуры нанесений защитных составов за счет их предварительного вспенивания и последующего термоотверждения. Это дает возможность снизить расход полимерсиликатных композиций при выполнении требований надежности функционирования стеновых блоков в ограждающих конструкциях зданий. Используемые при этом компоненты являются недефицитными и позволяют обеспечить заданную вязкость в широком диапазоне значений [14–16].

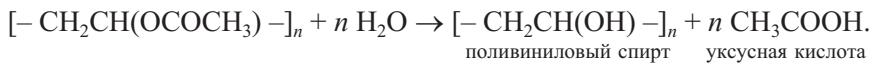
Натриевое жидкое стекло – водный раствор силиката натрия $\text{Na}_2\text{O} \cdot m \cdot \text{SiO}_2$. Силикат натрия – соль, образованная слабой кремниевой кислотой (H_2SiO_3) и сильным основанием NaOH . Эта соль подвержена гидролизу, т.е. разложению водой. Для метасиликата натрия гидролиз можно выразить в виде



Кремниевые кислоты выделяются в виде гелей. Это обеспечивает клеящую способность. При увеличении количества воды гидролиз усиливается.

ПВА $[-\text{CH}_2\text{CH}(\text{OCOCH}_3)-]_n$ нерастворим в воде, устойчив к старению в атмосфере. Дисперсии ПВА имеют концентрацию 50–55 %, размер частиц 0,05–2 мкм.

При действии раствора щелочи (она выделяется при гидролизе жидкого стекла) происходит гидролиз ПВА с образованием поливинилового спирта:



Таким образом, как при добавлении ПВА к жидкому стеклу, так и жидкого стекла к ПВА, происходят указанные процессы, что и вызывает изменение свойств системы и наличие максимумов и минимумов в зависимостях этих свойств от концентрации. Поливиниловый спирт также обладает хорошими адсорбционными и клеящими свойствами, поэтому клеящая и защитная способность системы жидкое стекло – ПВА сохраняется.

Нами были проведены исследования влияния защиты полимерсиликатными композициями шлакового заполнителя на величину шумопоглощения легким бетоном на комбинированном заполнителе (табл. 3).

Таблица 3. Средние значения звукопоглощающей способности стеновых материалов

Материал	Диапазон частот, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Кирпичная стена	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08
Войлок	0,16	0,18	0,36	0,71	0,78	0,83	0,85	0,87
Керамзитобетон по традиционной технологии	0,06	0,06	0,08	0,08	0,12	0,28	0,27	0,23
Стеновой блок из керамзитобетона с ИРКЗ*	0,11	0,14	0,19	0,21	0,27	0,40	0,35	0,36
Стеновой блок из шлакобетона с ИРКЗ	0,13	0,15	0,19	0,24	0,29	0,42	0,38	0,39
Стеновой блок из керамзитошлакобетона с ИРКЗ без защиты	0,14	0,19	0,28	0,41	0,54	0,56	0,58	0,58
Стена из шлакокерамзитобетона с ИРКЗ с защитой	0,21	0,22	0,31	0,43	0,45	0,52	0,54	0,61
Стеновой блок из керамзитошлакобетона с ИРКЗ с защитой и отходами хризотилицемента	0,23	0,24	0,32	0,44	0,49	0,57	0,64	0,65

* ИРКЗ – интегральное расположение крупного заполнителя.

Защита поверхности шлаковых гранул крупного заполнителя различными составами с целью уменьшения толщины защитных слоев и снижения расхода защитных составов полимерсиликатной композицией из жидкого стекла и ПВА целесообразна и позволяет снизить водоцементное отношение на первом этапе твердения легких бетонов за счет уменьшения поглощения воды шлаковым заполнителем. Предложена технологическая схема производства легких бетонов с комбинированным заполнителем и послойным формированием изделий с различными фракционными составами, что дает возможность эффективно снизить звуковую проницаемость (шумозащиту) в широком диапазоне звуковых волн благодаря созданию структуры с различной формой и разным диаметром пор. Определен комплект оборудования и технологической оснастки для изготовления изделий из таких бетонов. Исполь-

зование предложенных составов и технологии позволяет получать легкие бетоны, имеющие среднюю плотность до $450\text{--}750 \text{ кг}/\text{м}^3$; коэффициент теплопроводности от 0,14 до 0,31 $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, морозостойкость не менее 15 циклов, коэффициент звукового поглощения во всем диапазоне звуковых частот от 0,3 до 0,7 [17–20].

Осуществлено производственное апробирование и внедрение предложенных материалов и технологических процессов. Легкобетонные блоки использованы при строительстве жилых и производственных зданий в Барбинском, Куйбышевском и Чановском районах Новосибирской области. Регулярное обследование стен этих зданий в течение ряда лет показало стабильность свойств и эксплуатационную стойкость изделий из предложенных легких бетонов. Внутренняя поверхность экспериментальных стен теплее шлакобетонных стен в среднем на $3\text{--}5 ^\circ\text{C}$; влажность материала на внутренней поверхности ограждения ниже в 1,3–1,4 раза, что свидетельствует об осушающем эффекте пористого заполнителя в легком бетоне и, следовательно, улучшении микроклимата помещений в целом. Кроме того, отмечено уменьшение уровня шума в помещениях от внешних источников в 2–3 раза по сравнению с обычными стенами из керамзитобетона.

Выводы. Выполнен комплекс физико-химических исследований, в том числе фотоэлектроколориметрические исследования, позволившие оценить качество защитных композиций для крупнопористых строительных материалов различных видов, что создает благоприятные условия для выработки рекомендаций по технологии и рецептуре их усиления и использования в качестве крупного заполнителя легких крупнопористых бетонов с повышенной звукопоглощающей способностью.

Подтверждены ранее определенные оптимальные варианты пропиточных композиций по соотношению компонентов, рабочей вязкости и другим показателям, обеспечивающим долговременную и надежную работу в качестве заполнителя крупнопористых легких бетонов с интегральной структурой, обладающих повышенными теплоизолирующими и звукопоглощающими свойствами. Использование шлака в качестве крупного заполнителя легких бетонов дает возможность утилизировать отходы теплоэнергетики и создавать благоприятные экологические условия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю.М. Технология бетона: учеб. М.: Изд-во АСВ, 2003. 500 с.
2. Назаров И.Х. Строительные материалы, изделия и конструкции: справ. М.: Высш. шк., 1990. 495 с.
3. Бужевич Г.А. Легкие бетоны на пористых заполнителях. М.: Стройиздат, 1970. 272 с.
4. Виноградов Б.Н. Влияние заполнителей на свойства бетона. М.: Стройиздат, 1979. 274 с.
5. Иванов И.А. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях. М.: Стройиздат, 1993. 182 с.
6. Бурлаков Г.С. Технология изделий из легкого бетона. М.: Высш. шк., 1986. 296 с.
7. Комар А.Г., Баженов Ю.М., Сулименко Л.М. Технология производства строительных материалов: учеб. для вузов по спец. «Экономика и орг. пром. строит. материалов». М.: Высш. шк., 1984. 408 с.

8. Соломатов В.И., Выровой В.Н. и др. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости. Киев: Будивельник, 1991. 144 с.
9. Королев Е.В., Иноzemцев А.С. Прочность наномодифицированных высокопрочных легких бетонов // Нанотехнологии в строительстве. 2013. № 1. С. 24–38.
10. Звездов А.И., Фаликман В.Р. Высокопрочные легкие бетоны в строительстве и архитектуре // Жилищ. стр-во. 2008. № 7. С. 106–109.
11. Пичугин А.П., Кудряшов А.Ю., Денисов А.С. Повышение прочности стен полимерной пропиткой при устройстве навесных фасадов // Стройт. материалы. 2007. № 3. С. 44–47.
12. Книгина Г.И. и др. Об использовании метода фотоэлектроколориметрии для изучения адгезии полимера к минеральному наполнителю // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1968. № 3. С. 54–56.
13. Пичугин А.П., Князева В.П. Фотоэлектроколориметрическое изучение взаимодействия наполнителей с полимером // Вопросы гидромелиорации сельскохозяйственных земель в условиях Дальнего Востока: сб. науч. тр. Благовещенск: БСХИ-ПСХИ, 1973. С. 75–82.
14. Пичугин А.П., Городецкий С.А., Бареев В.И. Комплексная защита сельскохозяйственных объектов от коррозионного разрушения // Стройт. материалы. 2011. № 3. С. 45–47.
15. Субботин О.С., Пичугин А.П., Белан И.В. Материалы и архитектура малоэтажных зданий, эксплуатирующихся в особых природных условиях: моногр. Новосибирск: НГАУ-РАЕН, 2012. 192 с.
16. Пичугин А.П., Городецкий С.А., Бареев В.И. Коррозионностойкие материалы для защиты полов и инженерных систем сельскохозяйственных зданий и сооружений: моногр. Новосибирск: НГАУ-РАЕН, 2010. 142 с.
17. Пат. № 2415824 с приоритетом от 26.05.2009. Звукопоглощающий легкий бетон / А.П. Пичугин, А.С. Денисов, В.Ф. Хританков, В.В. Авраменко. Опубл. 10.04.2011. Бюл. № 10.
18. Денисов А.С. Легкие бетоны с изменяемой гранулометрией пористого заполнителя для стен зданий, работающих в суровых климатических условиях: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 2007. 37 с.
19. Хританков В.Ф. Легкие органоминеральные бетоны с повышенной звукопоглощающей способностью // Стройт. материалы. 2009. № 8. С. 60–63.
20. Пичугин А.П., Денисов А.С., Хританков В.Ф., Бареев В.И. Прогрессивная концепция формирования стенных блоков из легкого бетона на обжиговой связке // Стройт. материалы. 2011. № 12. С. 22–24.

Пименов Евгений Геннадьевич, асп.

Новосибирский государственный аграрный университет

Пичугин Анатолий Петрович, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный аграрный университет

Хританков Владимир Федорович, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный аграрный университет

Денисов Александр Сергеевич, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный аграрный университет

Получено 10.10.16

Pimenov Eugeniy Gennad'evich, Post-graduate Student

Novosibirsk State Agrarian University, Russia

Pichugin Anatoliy Petrovich, DSc, Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Russia

Khritankov Vladimir Fedorovich, DSc, Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Russia

Denisov Alexander Sergeevich, DSc, Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Russia

PHYSICO-CHEMICAL STUDIES

THE PROCESS OF REDUCING THE OPEN POROSITY

OF COARSE AGGREGATE CONCRETE

Cement savings values and thermal conductivity of lightweight concrete can be achieved by reducing the open porosity of coarse aggregate by treating the protective film-forming compositions. The results of a simple and accessible method fotoelektrokolorimetricheskikh studies allowed us to study the adhesion of the protective composition to the mineral component and optimizing formulations and protection technology of coarse aggregate slag, which contributed to an increase in heat-shielding qualities macroporous concrete with an integrated structure.

К e y w o r d s: the porous structure of the aggregate, polymer and polymersilikatnye composition, the adsorption of the dye, aqueous solutions of dyes, adhesion of protective compositions.

REFERENCES

1. B a z h e n o v Yu.M. Tekhnologiya betona [Concrete Technology: Textbook]. Moscow, 2003. 500 p. (in Russian)
2. N a n a z a s h v i l i I.Kh. Stroitel'nye materialy, izdelya i konstruktsii [Building materials, products and structures]. Moscow, 1990. 495 p. (in Russian)
3. B u z h e v i c h G.A. Legkie betony na poristykh zapolnitelyakh [Lightweight concrete with porous aggregates]. Moscow, 1970. 272 p. (in Russian)
4. V i n o g r a d o v B.N. Vliyanie zapolniteley na svoystva betona [Influence of aggregate on concrete properties]. Moscow, 1979. 274 p. (in Russian)
5. I v a n o v I.A. Legkie betony na iskusstvennykh poristykh zapolnitelyakh [Lightweight concrete artificial porous aggregates]. Moscow, 1993. 182 p. (in Russian)
6. B u r l a k o v G.S. Tekhnologiya izdeliy iz legkogo betona [Technology products of light concrete]. Moscow, 1986. 296 p. (in Russian)
7. K o m a r A.G., B a z h e n o v Yu.M., S u l i m e n k o L.M. Tekhnologiya proizvodstva stroitel'nykh materialov [Technology of production of building materials]. Moscow, 1984. 408 p. (in Russian)
8. S o l o m a t o v V.I., V y r o v o y V.N. et al. Kompozitsionnye stroitel'nye materialy i konstruktsii ponizhennoy materialoemkosti [Composite building materials and construction reduced material capacity]. Kiev, Budivelnik, 1991. 144 p. (in Russian)
9. K o r o l e v E.V., I n o z e m t s e v A.S. Prochnost' nanomodifitsirovannykh vysokoprochnykh legkikh betonov [Strength of nano-modified high-strength lightweight concretes]. Nanotekhnologii v stroitel'stve [Nanotechnologies in construction]. 2013. No. 1. Pp. 24–38. (in Russian)
10. Z v e z d o v A.I., F a l i k m a n V.R. Vysokoprochnye legkie betony v stroitel'stve i arkhitektуре [High-strength lightweight concrete in construction and architecture]. Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing construction]. 2008. No. 7. Pp. 106–109. (in Russian)
11. P i c h u g i n A.P., K u d r y a s h o v A.Yu., D e n i s o v A.S. Povyshenie prochnosti sten polimernoy propitkoj pri ustroystvye navesnykh fasadov [Increasing the strength of the walls of the polymer impregnated with the device suspended facades]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2007. No. 3. Pp. 44–47. (in Russian)

12. Knigina G.I. et al. Ob ispol'zovanii metoda fotoelektrokolorimetrii dlya izucheniya adgezii polimera k mineral'nomu napolnitelyu [The use of photoelectrocolorimeter method for the study of polymer adhesion to mineral fillers]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura [News of Higher Educational Institutions. Construction and Architecture]. 1968. No. 3. Pp. 54–56. (in Russian)
 13. Pichugin A.P., Knyazeva V.P. Fotoelektrokolorimetrickoe izuchenie vzaimodeystviya napolniteley s polimerom [Fotoelektrokolorimetric study the interaction of the fillers with the polymer]. Voprosy gidromelioratsii sel'skogo khozyaystvennykh zemel' v usloviyakh Dal'nego Vostoka [Problems of reclamation of agricultural lands in the Far East]. Blagoveshchensk: BSKHI-PSKHI, 1973. Pp. 75–82. (in Russian)
 14. Pichugin A.P., Gorodetskiy S.A., Bareev V.I. Kompleksnaya zashchita sel'skokhozyaystvennykh ob'yektor ot korrozionnogo razrusheniya [Comprehensive protection of agricultural objects from corrosion destruction]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2011. No. 3. Pp. 45–47. (in Russian)
 15. Subbotin O.S., Pichugin A.P., Belan I.V. Materialy i arkhitektura maloetazhnykh zdaniy, ekspluatiruyushchikhsya v osobykh prirodnykh usloviyakh [Materials and architecture of low-rise buildings, operating in specific environmental conditions]. Novosibirsk, 2012. 192 p. (in Russian)
 16. Pichugin A.P., Gorodetskiy S.A., Bareev V.I. Korrozionnostoykie materialy dlya zashchity polov i inzhenernykh sistem sel'skokhozyaystvennykh zdaniy i sooruzheniy [Corrosion-resistant materials for floor protection and agricultural engineering systems of buildings and structures]. Novosibirsk, 2010. 142 p. (in Russian)
 17. Patent for invention № 2415824 with priority of 26.05.2009. Zvukopogloschayushchiy legkiy beton [The sound-absorbing lightweight concrete] A.P. Pichugin, A.S. Denisov, V.F. Khritankov, V.V. Avramenko. Publ. 10.04.2011. Bull. No. 10. (in Russian)
 18. Denisov A.S. Legkie betony s izmenyaemoy granulometriey poristogo zapolnitelya dlya sten zdaniy, rabotayushchikh v surovых klimaticeskikh usloviyakh: avtoreferat dis. ... doktora tekhnicheskikh nauk [Lightweight concrete with variable particle size of the porous filler for walls, working in harsh environments. Abstract DSc]. Novosibirsk, 2007. 37 p. (in Russian)
 19. Khritankov V.F. Legkie organomineral'nye betony s povyshennoy zvukopogloschayushchey sposobnost'yu [Light organo concretes with high sound-absorbing capacity]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2009. No. 8. Pp. 60–63. (in Russian)
 20. Pichugin A.P., Denisov A.S., Khritankov V.F., Bareev V.I. Progessivnaya kontsepsiya formirovaniya stenovykh blokov iz legkogo betona na obzhigovoy svyazke [The progressive concept of formation of building blocks of lightweight concrete on the burning bundle]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2011. No. 12. Pp. 22–24. (in Russian)
-

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА



УДК 697.34:697.444

Т.А. РАФАЛЬСКАЯ, Р.Ш. МАНСУРОВ, Д.И. ЕФИМОВ, Е.Ю. КОСОВА

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В системах централизованного теплоснабжения применяется верхняя срезка температурного графика центрального регулирования в связи с невозможностью источников теплоты поддерживать высокотемпературные графики. Согласно действующим нормативным документам по обеспечению качества горячей воды необходимо увеличить температуру воды на нужды горячего водоснабжения с целью улучшения ее микробиологических характеристик. Для этого применяется поднятие нижней срезки температурного графика центрального регулирования. Однако в современных схемах тепловых пунктов используется связанный подача теплоты в системы горячего водоснабжения и отопления. Методом математического моделирования была решена задача определения температуры внутреннего воздуха помещений с учетом различных коэффициентов тепловой аккумуляции зданий, при разных температурах наружного воздуха и переменном водопотреблении в системе горячего водоснабжения. Расчеты показали, что увеличение температуры воды в системе горячего водоснабжения может вызвать неблагоприятный тепловой режим в отапливаемых зданиях.

Ключевые слова: система централизованного теплоснабжения, температурный график центрального регулирования, система отопления, система горячего водоснабжения, внутренний тепловой режим помещений, коэффициент аккумуляции зданий.

В настоящее время существует ряд проблем, связанных с энергетической эффективностью систем централизованного теплоснабжения, т.е. с возможностью системы теплоснабжения обеспечить нормируемую температуру внутреннего воздуха в помещениях и нормируемую температуру воды в системе горячего водоснабжения (СГВ) [1].

Одной из проблем является то, что практически во всех городах Российской Федерации наблюдается значительный разрыв между фактическим и проектным графиками центрального регулирования систем теплоснабжения. Системы централизованного теплоснабжения исторически проектировались при использовании качественного регулирования тепловой нагрузки на расчетный температурный график 150/70 °C как для ТЭЦ, так и для районных котельных, однако большинство теплоснабжающих организаций не в

состоянии поддерживать принятые при проектировании высокотемпературные графики теплоснабжения.

Тепловая нагрузка централизованной системы теплоснабжения покрывается за счет нагрева сетевой воды в теплофикационных подогревателях (поз. 14, 15 на рис. 1) паром низкого давления, отработавшим при выработке электроэнергии в турбине. Давление пара в отопительных отборах (поз. 12, 13 на рис. 1) регулируется в пределах от 0,03 до 0,25 МПа. Максимальная температура нагрева сетевой воды после теплофикационных подогревателей ограничена давлением насыщения в верхнем отопительном отборе и не превышает 120 °С. Поэтому в пиковый период при низких температурах наружного воздуха для покрытия нагрузки системы теплоснабжения должен производиться дополнительный подогрев сетевой воды до расчетной температуры в пиковых водогрейных котлах (поз. 18 на рис. 1). Применение верх-

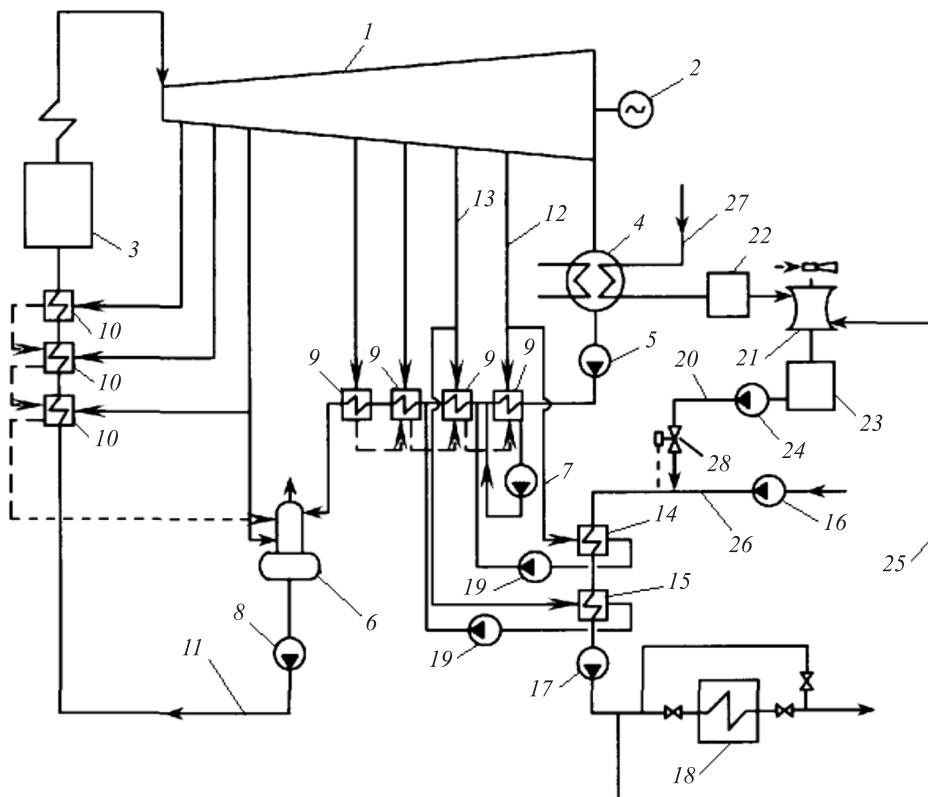


Рис. 1. Схема ТЭЦ с турбиной типа Т

1 – теплофикационная турбина; 2 – электрогенератор; 3 – энергетический котел; 4 – конденсатор; 5 – конденсатный насос; 6 – деаэратор повышенного давления; 7 – конденсатный насос регенеративных подогревателей; 8 – питательный насос; 9 – регенеративные подогреватели низкого давления; 10 – регенеративные подогреватели высокого давления; 11 – питательная линия; 12, 13 – соответственно нижний и верхний отопительные отборы; 14, 15 – соответственно теплофикационные подогреватели нижней и верхней ступеней; 16 – сетевой насос первого подъема; 17 – сетевой насос второго подъема; 18 – пиковый водогрейный котел; 19 – конденсатные насосы теплофикационных подогревателей; 20 – подпиточная линия; 21 – вакуумный деаэратор; 22 – узел умягчения; 23 – бак-аккумулятор; 24 – подпиточный насос; 25 – трубопровод греющего агента деаэратора; 26 – сетевой трубопровод; 27 – встроенный пучок в конденсаторе; 28 – регулятор подпитки

ней срезки температурного графика связано с остановкой пиковых водогрейных котлов.

Вторая важная проблема состоит в том, что централизованная система горячего водоснабжения разрабатывалась в соответствии с нормативными документами 70–90-х гг. ХХ в. (СНиП II-34-76 «Горячее водоснабжение»; СанПиН 2.1.4.559-96 «Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества»), которыми были установлены микробиологические характеристики и температура горячей воды.

Температуру горячей воды в местах водоразбора следовало предусматривать в соответствии со СНиП II-34-76, п. 3.8:

- а) не ниже 60 °C – для систем централизованного горячего водоснабжения, присоединяемых к открытым системам теплоснабжения;
- б) не ниже 50 °C – для систем централизованного горячего водоснабжения, присоединяемых к закрытым системам теплоснабжения;
- в) не ниже 60 °C – для систем местного горячего водоснабжения;
- г) не выше 75 °C – для систем, указанных в подпунктах а, б и в.

Несколько позже для проектирования СГВ был разработан свод правил СП 41-101-95 по проектированию и строительству тепловых пунктов, отвечающих требованиям вышеуказанных документов. В частности, на нужды горячего водоснабжения применялся температурный график 60/40, т.е. была определена температура горячего водоснабжения на вводе в дом 60 °C.

В 2009 г. были введены новые санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.4.2496-09 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Это было связано с обнаружением в трубопроводах горячего водоснабжения высококонгигиенических инфекционных возбудителей вирусного и бактериального происхождения, способных размножаться при температуре ниже 60 °C (в их числе – *Legionella pneumophila* [2]). Температура горячей воды в местах водоразбора независимо от применяемой системы теплоснабжения должна быть не ниже 60 °C и не выше 75 °C по СанПиН 2.1.4.2496-09, п. 2.4.

Для соответствия новым санитарным нормам и правилам были разработаны строительные нормы и правила СП 30.13330.2012 «Внутренний водопровод и канализация зданий», которые совместно с СанПиН 2.1.4.2496-09 регламентируют температуру горячего водоснабжения.

Для условий Новосибирска проектный и фактический график от ТЭЦ принят 150/70 °C, но используются две балансовые срезки: верхняя на 118 °C (ТЭЦ-2, ТЭЦ-3) и на 114 °C (ТЭЦ-4, ТЭЦ-5) и нижняя срезка на 78 °C для нужд СГВ. Таким образом, для соответствия новым санитарным нормам нижняя срезка температурного графика была поднята на 8 °C.

В схемах тепловых пунктов жилого сектора применяется двухступенчатая смешанная схема присоединения теплообменников СГВ с ограничением максимального расхода сетевой воды на ввод теплового пункта (рис. 2), т.е. так называемая «связанная» подача теплоты, ограниченная располагаемой тепловой мощностью системы теплоснабжения. Поэтому увеличение

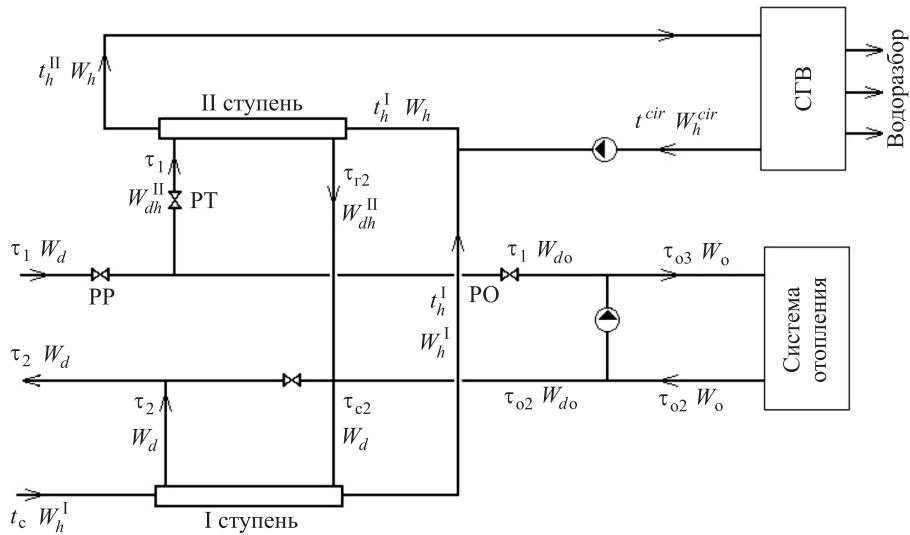


Рис. 2. Схема теплового пункта (ТП)

Температура сетевой воды: t_1 – в подающей магистрали теплосети; t_{o3} – в подающей магистрали системы отопления; t_{o2} – в обратной магистрали системы отопления; t_2 – в обратной магистрали теплосети; t_{r2} – после подогревателя СГВ II ступени; t_{c2} – на входе в подогреватель СГВ I ступени

Температура нагреваемой воды: t_c – в холодном водопроводе на входе в подогреватель СГВ I ступени; t_h^I – после подогревателя СГВ I ступени; t_h^{II} – после подогревателя СГВ II ступени; t^{cir} – в циркуляционной линии СГВ

Эквиваленты расходов сетевой воды: W_d – в тепловой сети; W_{dh}^{II} – на II ступень подогревателя СГВ; W_{do} – в подающей магистрали системы отопления (до смесительного насоса); W_o – в подающей магистрали системы отопления (после смесительного насоса)

Эквиваленты расходов нагреваемой воды: W_h^I – из холодного водопровода; W_h^{cir} – в циркуляционной линии СГВ; W_h^{II} – в СГВ

температуры воды в СГВ неизбежно вызовет изменения работы связанной с ней системы отопления.

Особенностью двухступенчатой смешанной схемы является то, что сначала обеспечивается теплотой СГВ, где во II ступени теплообменника в расчетном режиме (в точке излома температурного графика) используется весь расход сетевой воды из теплосети, который затем поступает в I ступень теплообменника СГВ, минуя систему отопления. Таким образом, сокращается площадь теплообменника СГВ II ступени и снижается суммарный расход сетевой воды, но при максимальном водопотреблении в СГВ система отопления недополучает необходимое количество теплоты. Восстановление тепловой мощности системы отопления возможно при минимальном водопотреблении или его отсутствии, когда в систему отопления поступает дополнительное количество теплоты теплоносителя, предназначенный для II ступени теплообменника СГВ. Снизить колебания температуры внутреннего воздуха, вызванные суточной неравномерностью водопотребления, возможно за счет тепловой аккумуляции ограждений зданий.

Для определения режимов системы теплоснабжения была разработана математическая модель и методика расчета теплового пункта на основе уравнения тепловой характеристики теплообменных аппаратов. Задача решалась в программе MathCad методом последовательных приближений в матричной форме.

Основные положения методики расчета сводятся к следующим. В первом приближении принимается независимая работа систем отопления и горячего водоснабжения, т.е. «несвязанная» подача теплоты.

Параметры теплообменников СГВ I и II ступеней

$$\Phi^I = \frac{k^I F^I}{\sqrt{W_h^I W_d^p}}; \quad (1)$$

$$\Phi^{II} = \frac{k^{II} F^{II}}{\sqrt{W_h^{II} W_d^p}}, \quad (2)$$

где $k^I F^I$ и $k^{II} F^{II}$ – произведения коэффициентов теплопередачи на поверхность нагрева теплообменников в расчетном режиме, при расчетных эквивалентах расхода греющей (сетевой) W_d^I , W_d^{II} и нагреваемой (водопроводной) W_h^I , W_h^{II} воды в теплообменниках.

Водяной эквивалент расхода сетевой воды на отопление, кВт/°С

$$W_{do}^{tp}(t_h) = \frac{\bar{Q}_o^{tp} Q_{omax}}{\tau_1 - \tau_{o2}}, \quad (3)$$

где требуемый относительный расход теплоты на отопление:

$$\bar{Q}_o^{tp}(t_h) = Q_o^{tp}/Q_{omax}(t_{bp} - t_h)/(t_{bp} - t_{ho}), \quad (4)$$

Q_{omax} – расчетный расход теплоты на отопление, кВт;

τ_1 , τ_{o2} – температура воды, °С, в подающей магистрали тепловых сетей и после системы отопления при текущей температуре наружного воздуха t_h ; t_{bp} , t_{ho} – расчетная температура внутреннего и наружного воздуха для проектирования отопления соответственно, °С.

В первом приближении принимается расход сетевой воды через теплообменник I ступени СГВ, равный отопительному W_{do} . Расход сетевой воды на СГВ не учитывается, поскольку он пока неизвестен. Температура сетевой воды на входе в теплообменник I ступени СГВ принимается равной температуре обратной воды после системы отопления $\tau_{c2} = \tau_{o2}$.

Производительность I ступени СГВ Q_h^I при любой наружной температуре определяется по формуле:

$$Q_h^I(t_h) = \varepsilon^I(t_h) W_h^I(t_h) \nabla^I(t_h), \quad (5)$$

где ε – безразмерная удельная тепловая нагрузка теплообменника, представляющая собой отношение тепловой производительности данного аппарата к тепловой производительности противоточного теплообменника с бесконечно большой поверхностью нагрева, работающего при тех же условиях на входе в аппарат.

$$\varepsilon^I(t_h) = \frac{1}{a \frac{W_m(t_h)}{W_6(t_h)} + b + \frac{1}{\Phi^{lp}} \sqrt{\frac{W_m(t_h)}{W_6(t_h)}}} \leq 1, \quad (6)$$

W_m , W_b – соответственно меньшее и большее из двух значений W_{do} и W_h^I водяных эквивалентов теплоносителей, проходящих через I ступень теплообменника СГВ;

a и b – коэффициенты, зависящие от соотношения расходов сред в теплообменнике;

$\nabla^I(t_h) = \tau_{o2}(t_h) - t_c$ – максимальная разность температур, °C, на входе в теплообменник;

t_c – температура холодной водопроводной воды.

Температура нагреваемой водопроводной воды после подогревателя I ступени:

$$t_h^I(t_h) = t_c + \frac{Q_h^I(t_h)}{W_h^I(t_h)}. \quad (7)$$

Необходимую тепловую производительность подогревателя II ступени можно вычислить, зная требуемую суммарную (расчетную) тепловую нагрузку подогревателей СГВ:

$$Q_h^{II}(t_h) = Q_h - Q_h^I(t_h). \quad (8)$$

В общем случае эквивалент сетевой воды через подогреватель СГВ II ступени можно определить как:

$$W_h^{II}(t_h) = \frac{Q_h^{II}(t_h)}{\tau_1(t_h) - \tau_{r2}(t_h)}, \quad (9)$$

где τ_{r2} – температура греющей воды на выходе из подогревателя II ступени. Ввиду того, что при предварительном расчете τ_{r2} неизвестна, примем, что в подогревателе отсутствуют теплопотери и возможна полная передача тепла от греющей к нагреваемой среде, т.е. $\tau_{r2}(t_h) = t_h^I(t_h)$ как в теплообменнике с бесконечно большой поверхностью теплообмена.

После получения величины $W_{dh}^{II}(t_h)$ появляется возможность предварительно определить суммарный эквивалент расхода сетевой воды на отопление и горячее водоснабжение, возвращаемой в тепловую сеть после подогревателя I ступени СГВ, т.е. водяной эквивалент расхода сетевой воды через подогреватель I ступени:

$$W_d(t_h) = W_{do}^{tp} + W_{dh}^{II}(t_h). \quad (10)$$

Для определения температуры смешанной воды, возвращаемой в тепловую сеть после систем отопления и горячего водоснабжения, необходимо составить уравнение теплового баланса для систем отопления и горячего водоснабжения. Примем, что работа СГВ не влияет на работу системы отопления. Тогда расход и температура теплоносителя после системы отопления будут соответствовать требуемым; температуру сетевой воды на входе в подогреватель I ступени СГВ можно определить по формуле

$$\tau_{c2}(t_h) = \frac{W_{do}^{tp}}{W_d(t_h)} \tau_{o2}(t_h) + \frac{W_{dh}^{II}(t_h)}{W_d(t_h)} \tau_{r2}(t_h). \quad (11)$$

Значения температур и расходов сетевой и нагреваемой воды, установленные в первом приближении, уточняются в последующих приближениях, где учитывается, что расход сетевой воды на II ступень теплообменника СГВ может превышать расход воды, подаваемой тепловой сетью на нужды СГВ, а количество теплоты, поступающей в систему отопления, зависит от водопотребления в СГВ. Производительность I ступени теплообменника СГВ определяется по формуле (4) с уточненными эквивалентами расходов греющей и нагреваемой сред.

Максимальная разность температур теплоносителей на входе в теплообменник

$$\nabla^I(t_h) = \tau_{c2}(t_h) - t_c. \quad (12)$$

Температура нагреваемой воды после теплообменника СГВ I ступени определяется по формуле (7). Тепловая нагрузка теплообменника II ступени СГВ находится по формуле (8).

Эквивалент расхода сетевой воды через теплообменник СГВ II ступени

$$W_{dh}^{II}(t_h) \cong \frac{c(\Phi^{Ipp})^2 W_h^{II}(t_h)}{\left[-1 + \sqrt{1 + d(\Phi^{Ipp})^2 \left(\frac{\nabla^{II}(t_h) W_h^{II}(t_h)}{Q_h^{II}(t_h)} - e \right)} \right]^2} \geq \frac{Q_h^{II}(t_h)}{\nabla^{II}(t_h)}, \quad (13)$$

где c и d – коэффициенты, зависящие от соотношений расходов нагреваемого $W_{\text{наг}}$ и греющего $W_{\text{гр}}$ теплоносителей. Если $W_{\text{наг}} < W_{\text{гр}}$, то $c = 1,7$; $d = 2,6$; коэффициент $e = a = 0,35$. Если $W_{\text{наг}} > W_{\text{гр}}$, то $c = 0,5$; $d = 1,4$; $e = b = 0,65$ в соответствии с [3].

Максимальная разность температур на входе в подогреватель II ступени $\nabla^{II}(t_h)$ определяется по формуле

$$\nabla^{II}(t_h) = \tau_1(t_h) - t_h^I(t_h). \quad (14)$$

Температуру сетевой воды на выходе из подогревателя II ступени можно найти по формуле

$$\tau_{r2}(t_h) = \tau_1(t_h) - \frac{Q_h^{II}(t_h)}{W_{dh}(t_h)}. \quad (15)$$

В данной схеме ТП в точке излома величина $W_{dh}(t_h)$ может достигать $W_d(t_h)$, а при других t_h превышать расход воды, подаваемой тепловой сетью на горячее водоснабжение. Поэтому во втором приближении невозможно воспользоваться формулой (10) для того, чтобы найти водяной эквивалент расхода сетевой воды через подогреватель I ступени, так как неизвестен эквивалент расхода из сети для системы отопления $W_{do}(t_h)$, который в этом случае может уменьшиться до нуля.

Суммарный расход сетевой воды определяется через теплообменник СГВ I ступени

$$W_d^I(t_h) = W_d(t_h) \cong \frac{0,5(\Phi^{Ipp})^2 W_h^I(t_h)}{\left[-1 + \sqrt{1 + 1,4(\Phi^{Ipp})^2 \left(\frac{\nabla^I(t_h) W_h^I(t_h)}{Q_h^I(t_h)} - 0,65 \right)} \right]^2}. \quad (16)$$

Эквивалент расхода сетевой воды W_{dh} , подаваемый тепловой сетью на СГВ, можно найти как разницу между суммарным сетевым расходом воды в I ступени и требуемым расходом сетевой воды на отопление:

$$W_{dh}(t_h) = W_d(t_h) - W_{do}^{tp}(t_h). \quad (17)$$

В действительности расход воды для системы отопления из сети может быть не равен требуемому расходу. Примем во втором приближении $W_{do}^d(t_h) = W_d(t_h) - W_{dh}^{II}(t_h)$. Тогда уравнение теплового баланса систем отопления и горячего водоснабжения для определения температуры сетевой воды на входе в подогреватель I ступени будет иметь вид

$$\tau_{c2}(t_h) = \frac{W_d(t_h) - W_{dh}^{II}(t_h)}{W_d(t_h)} \tau_{o2}(t_h) + \frac{W_{dh}^{II}(t_h)}{W_d(t_h)} \tau_{r2}(t_h). \quad (18)$$

Температура сетевой воды на выходе из подогревателя СГВ I ступени:

$$\tau_2(t_h) = \tau_{c2}(t_h) - \frac{Q_h^I(t_h)}{W_d(t_h)}. \quad (19)$$

По разработанной методике были сделаны расчеты режимов ЦТП-ц41 по ул. Орджоникидзе в Новосибирске. Расчетная нагрузка на отопление составляет $Q_{omax} = 4,459$ МВт, средняя на горячее водоснабжение $Q_{hm} = 2,659$ МВт. Результаты расчетов представлены на рис. 3, 4.

Применение верхней срезки температурного графика и поднятие нижней срезки резко сокращают область центрального качественного регулирования тепловой нагрузки (рис. 3, а). Поскольку при качественном регулировании расходы воды в теплосети наибольшие, а также вследствие необходимости постоянной работы смесительных насосов в тепловом пункте из-за суточной неравномерности водопотребления, возникает вопрос о целесообразности применения графика центрального качественного регулирования на источнике теплоты.

Кроме того, поднятие нижней срезки сдвигает точку излома температурного графика в область более низких температур наружного воздуха (см. рис. 3, а). Таким образом, при более низких температурах наружного воздуха возникают режимы совместной работы систем отопления и горячего водоснабжения, при которых система отопления в случае водопотребления в СГВ выше среднего полностью отключается от тепловой сети ($G_{do}^d < G_{do}^{tp}$ в течение большей части отопительного периода, рис. 3, б). Циркуляция воды в системе отопления поддерживается работой смесительных насосов, подмешивающих воду из обратной магистрали.

На рис. 4 показана тепловая мощность системы теплоснабжения в течение отопительного периода, где Q_{do}^{tp} – требуемая тепловая мощность системы отопления, при которой температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий будет равна 18 °С в соответствии с СП 124.13330.2012 «Тепловые сети». При максимальном водопотреблении в СГВ тепловая мощность системы отопления Q_{do}^{min} минимальна и меньше требуемой в течение всего отопительного периода. Q_h^{II} – тепловая мощность СГВ II ступени. Эту тепловую

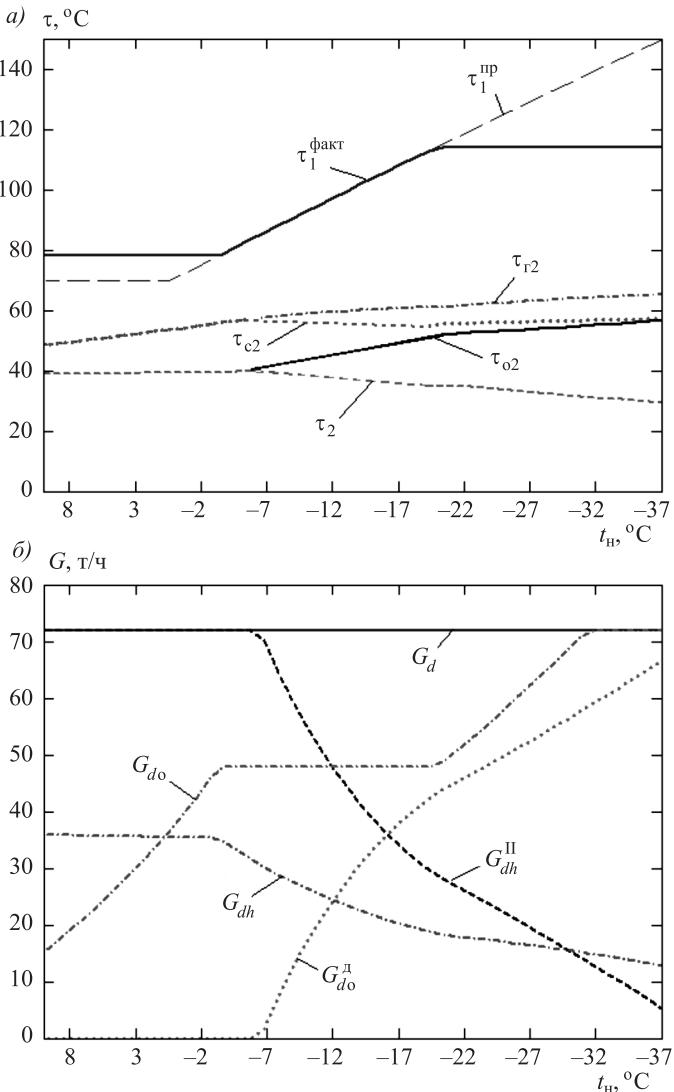


Рис. 3. Температура сетевой воды (а) и расход сетевой воды (б) в течение отопительного периода при максимальном водопотреблении в СГВ

$\tau_1^{\text{пп}}$ – проектная температура в подающей магистрали теплосети;
 $\tau_1^{\text{факт}}$ – фактическая температура в подающей магистрали теплосети с учетом срезок температурного графика; G_d – суммарный расход воды в тепловой сети; G_{dh} – на обеспечение нагрузки горячего водоснабжения; G_{dh}^{II} – на II ступень подогревателя СГВ; G_{do} – требуемый расход для системы отопления из теплосети; $G_{do}^{\text{д}}$ – расход воды из теплосети, поступающей в систему отопления при максимальном водопотреблении в СГВ.

Остальные обозначения см. на рис. 2

мощность (или ее часть) можно направить в систему отопления при водопотреблении ниже среднего.

В то же время можно видеть, что существуют неблагоприятные режимы совместной работы систем отопления и СГВ, когда при отсутствии водопотребления в СГВ суммарная (располагаемая) тепловая мощность систем

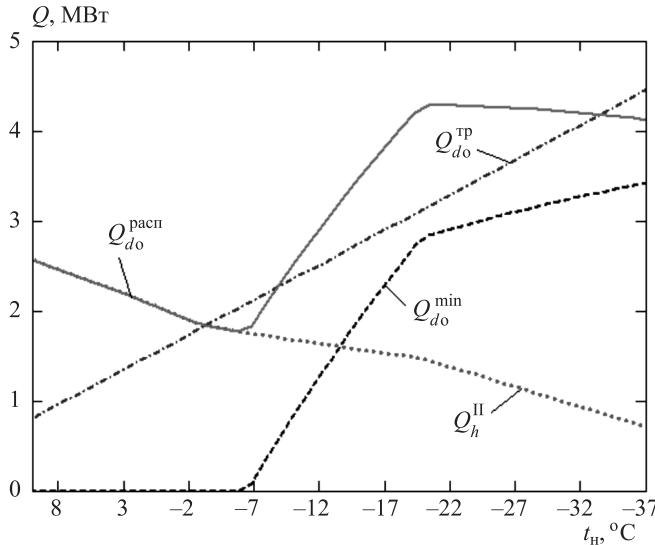


Рис. 4. Тепловая мощность системы теплоснабжения в течение отопительного периода

отопления и горячего водоснабжения $Q_{d0}^{\text{расп}}$ не обеспечит температуру внутреннего воздуха даже на уровне 18 °С. Это температурный диапазон от –34 °С и ниже, а также от –5 до –10 °С. Средняя температура наружного воздуха для Новосибирска за отопительный период составляет –8,1 °С. Таким образом, на протяжении большей части отопительного периода даже в периоды ночных «натопов» температура внутреннего воздуха может не расти, а наоборот понижаться.

Благоприятные температурные режимы могут наблюдаться в интервале наружных температур от –18 до –26 и выше +3 °С, когда тепловая мощность II ступени СГВ превышает тепловую мощность системы отопления. Восстановление тепловой мощности системы отопления напрямую связано с показателем теплоустойчивости (коэффициентом тепловой аккумуляции) β , ч, здания [4, 5].

Рассматриваемый ЦПП обслуживает жилые 10-этажные здания прямоугольной формы в плане, с габаритами в осях 34,2×10,6 м, с максимальной высотой от уровня земли до верха парапета 33 м. Суммарная площадь наружных стен здания $A_w \approx 2373 \text{ м}^2$; суммарная площадь остекления $A_F \approx 594 \text{ м}^2$; площадь входных дверей $A_{ed} \approx 3 \text{ м}^2$.

Определим коэффициенты тепловой аккумуляции для зданий с кирпичными и панельными стенами (рис. 5) по методике [6].

$$\beta = \frac{C_{\text{ном}}}{3,6Q_{\text{уд}}} = \frac{k_i \sum \delta_i c_i \rho_i F_i / 2}{\sum k_i F_i + L(c\rho)_{\text{вз}}}, \quad (20)$$

где k_i – безразмерный коэффициент, принимаемый по [7], для угловых жилых помещений с радиаторными и конвекторными системами отопления $k_i = 0,92$;

δ_i – толщина i -го слоя материала, м;

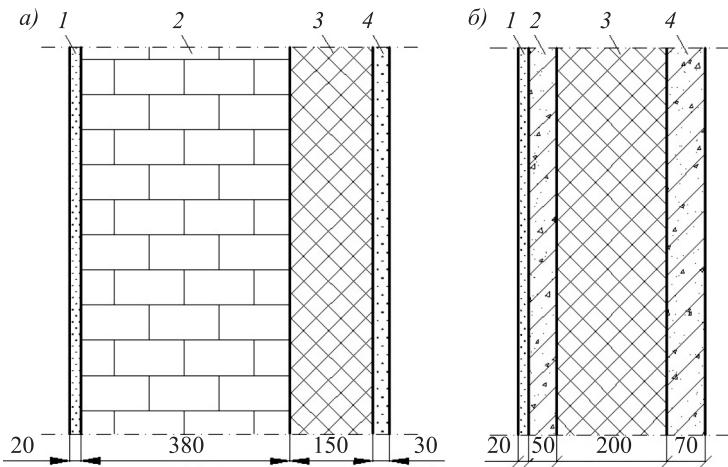


Рис. 5. Конструкции наружных стен

a): 1 – гипсовый обшивочный лист $\rho = 800 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\lambda = 0,15 \text{ Вт}(\text{м} \cdot \text{К})$;

2 – кладка из глиняного кирпича $\rho = 1600 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\lambda = 0,47 \text{ Вт}(\text{м} \cdot \text{К})$;

3 – плиты минераловатные жесткие $\rho = 300 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\lambda = 0,058 \text{ Вт}(\text{м} \cdot \text{К})$;

4 – цементно-песчаный раствор $\rho = 2200 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\lambda = 1,4 \text{ Вт}(\text{м} \cdot \text{К})$

б): 1 – гипсовый обшивочный лист $\rho = 800 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\lambda = 0,15 \text{ Вт}(\text{м} \cdot \text{К})$;

2, 4 – железобетон $\rho = 2500 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\lambda = 1,69 \text{ Вт}(\text{м} \cdot \text{К})$;

3 – плиты минераловатные $\rho = 200 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\lambda = 0,064 \text{ Вт}(\text{м} \cdot \text{К})$

ρ_i – плотность i -го слоя материала, $\text{кг}/\text{м}^3$;

c_i – теплоемкость i -го слоя материала, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

F_i – площадь i -го слоя материала, м^2 ;

L – расход инфильтрационного воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$\rho_{вз}$ – плотность инфильтрующегося воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$c_{вз}$ – теплоемкость инфильтрующегося воздуха, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

По формуле (20) были определены коэффициенты тепловой аккумуляции для здания с кирпичными стенами $\beta = 73,3$ ч и с железобетонными стенами $\beta = 36,9$ ч.

Действительную температуру внутреннего воздуха t_b при изменяющейся тепловой нагрузке и текущей температуре наружного воздуха t_h за каждый час z можно определить по формуле Е.Я. Соколова:

$$t_b^d = t_h + \left[\frac{Q_{do}}{Q_{tp}} + \left(\frac{t_b - t_h}{t_{tp} - t_{ho}} \right) e^{-\frac{z}{\beta}} \right] (t_{tp} - t_{ho}). \quad (21)$$

Возмущающими факторами являются неравномерность суточного графика водопотребления в СГВ (рис. 6) и изменение температуры наружного воздуха (рис. 7).

Действительная тепловая мощность системы отопления определялась по графикам (см. рис. 4, 6) с учетом дополнительной тепловой мощности, которую можно направить в систему отопления при водопотреблении в СГВ, отличном от максимального:

$$Q_{do} = Q_{do}^{\min} + (1 - \overline{Q_h^II}) \quad (22)$$

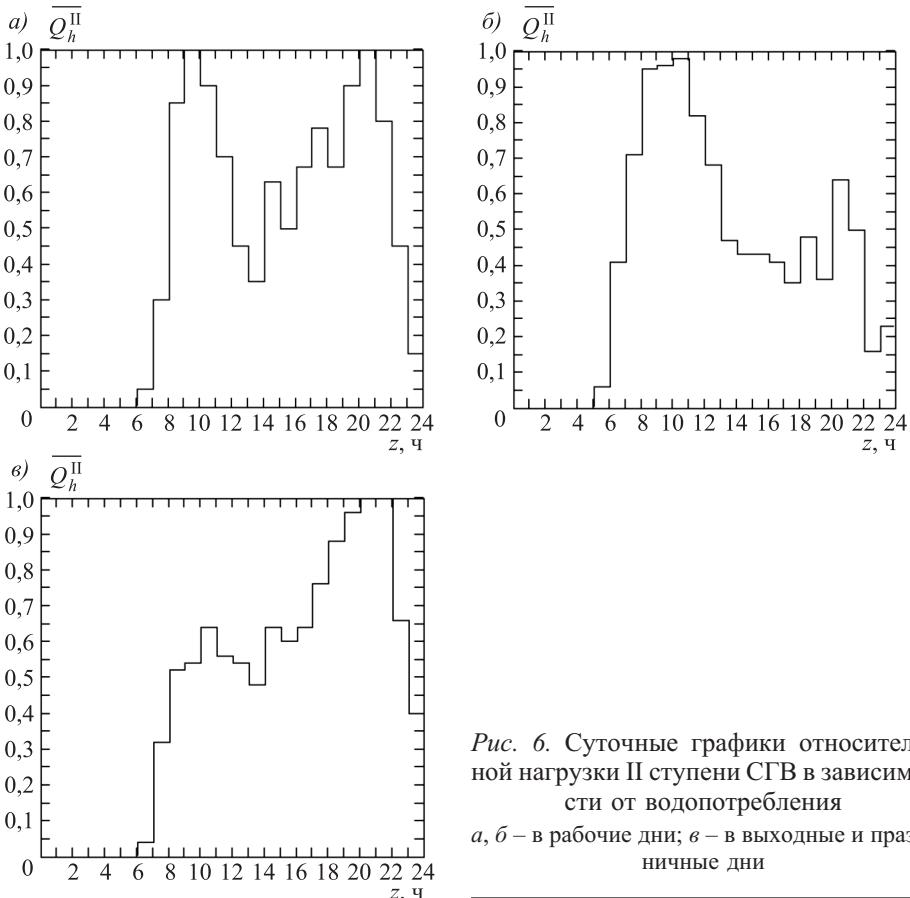


Рис. 6. Суточные графики относительной нагрузки II ступени СГВ в зависимости от водопотребления
 а, б – в рабочие дни; в – в выходные и праздничные дни

или

$$Q_{do} = Q_{do}^{\text{расп}} - \overline{Q}_h^{\text{II}}. \quad (23)$$

Для различных интервалов температур наружного воздуха в Новосибирске по данным Всемирной метеорологической организации¹ и при переменном водопотреблении было определено изменение температуры внутреннего воздуха отапливаемых зданий за периоды времени в 1 неделю (168 ч), (рис. 8).

Расчеты показали, что даже при наружной температуре в «благоприятном» диапазоне от -18 до -26 и выше $+3$ °С температура внутреннего воздуха редко поднималась даже до $+21$ °С – нижнего диапазона оптимальных температур внутреннего воздуха по ГОСТ 30494–2011 (кривая 3 на рис. 8). Большую же часть времени температура внутреннего воздуха была ниже оптимальных значений. В соответствии с СТО НОСТРОЙ 2.15.70–2012 «Устройство систем теплоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования и холодоснабжения» жилые помещения относятся ко второй категории потребителей, в которых допускается снижение температуры до 16 °С

¹ WMO (GSOD) Всемирная метеорологическая организация. URL: <http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdoselect.cmd?datasetabbv=GSOD&countryabbv=RS&georegionabbv=&resolution=40> (дата обращения: 21.09.16).

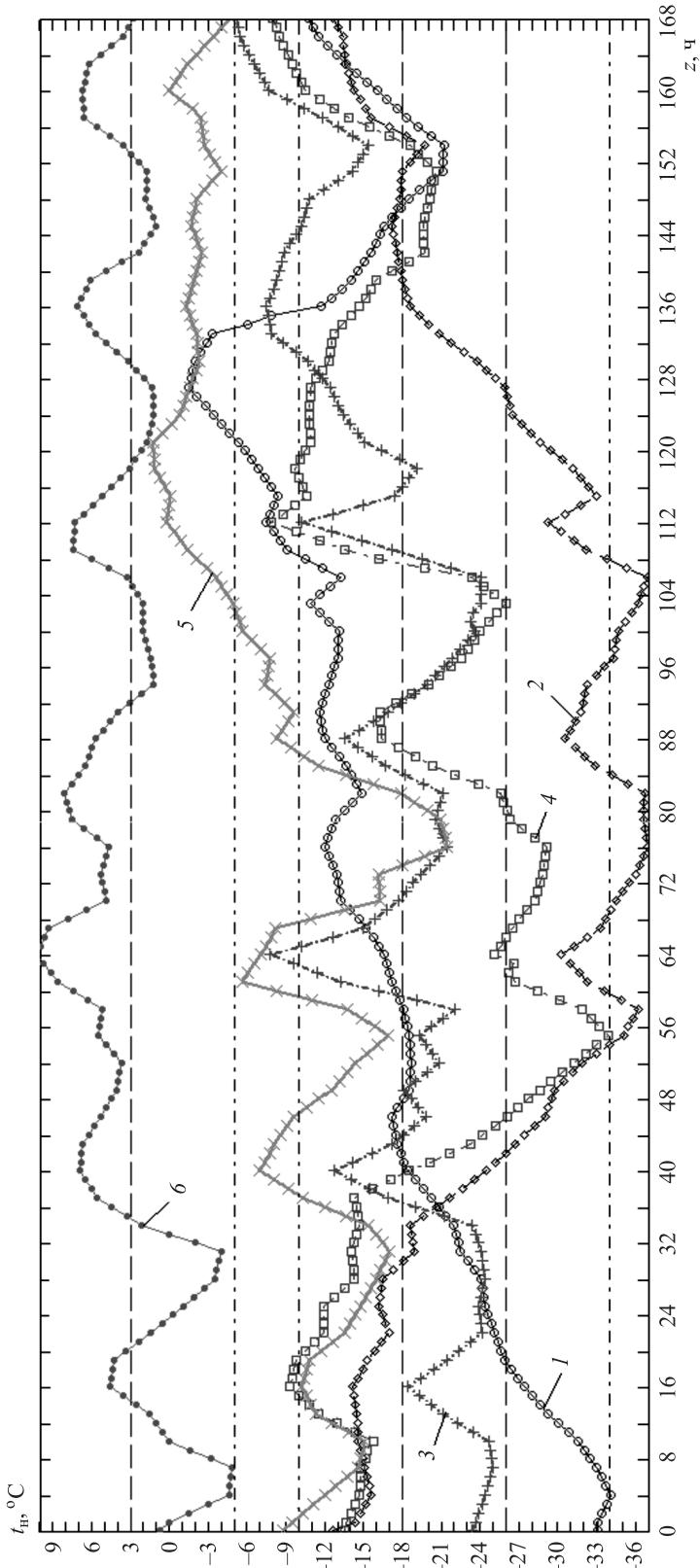


Рис. 7. Температура наружного воздуха по данным ВМО:
 1 – 29.11.2014–05.12.2014; 2 – 22.01.2015–28.01.2015; 3 – 01.02.2015–07.02.2015; 4 – 17.02.2015–23.02.2015; 5 – 06.03.2015–12.03.2015; 6 – 09.04.2015–16.04.2015

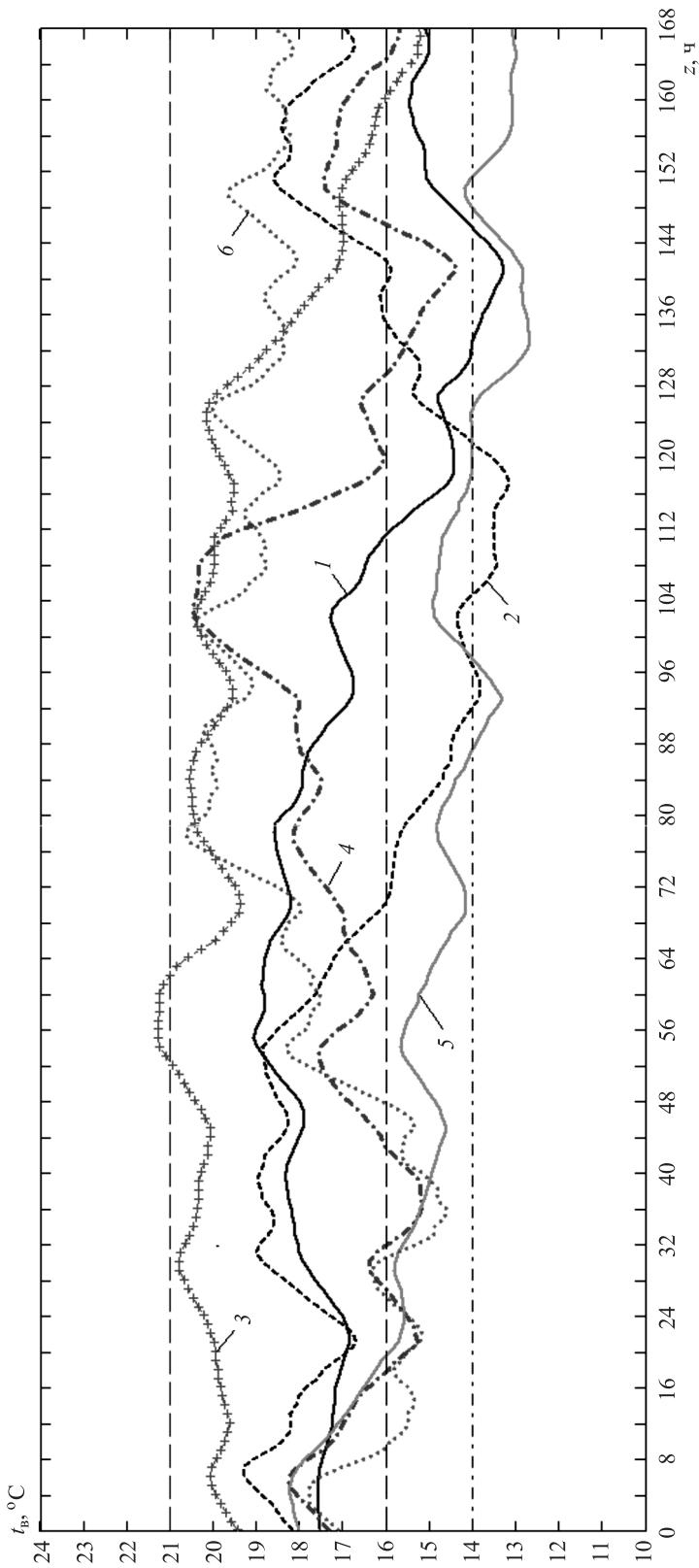


Рис. 8. Температура внутреннего воздуха помещений

1-6 – внутренняя температура, соответствующая диапазонам наружной температуры на рис. 7: 1, 3, 5 – $\beta = 73,3$ ч; 2, 4, 6 – $\beta = 36,9$ ч

в течение не более 54 ч. Границей опасности для человека является температура на уровне 14 °С, поскольку при такой температуре еще обеспечивается равновесие между теплогенерацией человека и его теплообменом с окружающей средой [8]. Таким образом, тепловой режим зданий при температуре наружного воздуха ниже –34 и от –5 до –10 °С можно рассматривать как аварийный (кривые 2, 5 на рис. 8).

Выводы. Основное внимание следует обратить не на увеличение температуры в СГВ, а на причины необеспечения качества горячего водоснабжения в существующих системах, к которым можно отнести:

1. Внутридомовые (отсутствие циркуляции горячего водоснабжения в домах, отсутствие тепловой изоляции на внутридомовых трубопроводах, разрегулировка СГВ в домах);
2. Теплосетевые (отсутствие циркуляции от ЦТП, износ трубопроводов СГВ, несоответствие ранних проектных решений современным требованиям к качеству, износ оборудования ЦТП);
3. Несоблюдение технологии забора воды и подачи ее населению, необеспечение надлежащего химического очищения воды.

Выявление и устранение указанных недостатков позволит повысить качество теплоснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rafalskaya T.A. Reliability and controllability of systems of centralized heat supply // Eastern European Scientific Journal (Gesellschaftswissenschaften): Düsseldorf (Germany): Auris Verlag, 2016. No. 2. P. 228–235.
2. Научно-методическое обоснование микробиологической безопасности снижения температуры горячей воды в системах водоснабжения закрытого типа // Отчет о научно-исследовательской работе. М.: ФНИЦЭМ, 2015. 48 с.
3. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. М.: Энергоатомиздат, 1986. 318 с.
4. Малинина Е.Г., Цыганков А.В. Влияние различных факторов на темп остывания помещения после отключения теплоснабжения // Изв. вузов. Строительство. 2015. № 1. С. 53–59.
5. Переходцев А.Г. Нормирование сопротивления теплопередаче наружных ограждений зданий по условию теплового комфорта в помещении // Вестн. МГСУ. 2016. № 2. С. 173–185.
6. Бодров В.И., Корягин М.В. Методика расчета теплового режима зданий массовой застройки в период «температурных срезов» // Изв. вузов. Строительство. 2007. № 2. С. 42–46.
7. Кононович Ю.В. Тепловой режим зданий массовой застройки. М.: Стройиздат, 1986.
8. Попырин Л.С. Природно-техногенные аварии в системах теплоснабжения // Вестн. РАН. 2000. Т. 70, № 7. С. 604–610.

Рафальская Татьяна Анатольевна, канд. техн. наук, доц.;
E-mail: rafalskaya.ta@yandex.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
Мансуров Рустам Шамильевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: rmansurov@inbox.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Ефимов Дмитрий Иванович, студ.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Косова Елизавета Юрьевна, студ.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 06.10.16

Rafalskaya Tat'yana Anatol'evna, PhD, Ass. Professor;

E-mail: rafalskaya.ta@yandex.ru

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

Mansurov Rustam Shamil'evich, PhD, Ass. Professor; E-mail: rmansurov@inbox.ru

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

Efimov Dmitriy Ivanovich, Student

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

Kosova Elizaveta Yur'evna, Student

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

PROBLEMS OF POWER EFFICIENCY OF SYSTEMS OF THE CENTRALIZED HEAT SUPPLY

In modern systems of centralized heat supply applied top cut of the temperature schedule of the central regulation, in connection with impossibility of sources of heat to maintain high-temperature schedules. According to operating normative documents on maintenance of quality of hot water it is necessary to increase temperature of water by needs of hot water supply with the purpose of improvement of its microbiological characteristics. The raising is applied for this purpose bottom cut the temperature schedule of the central regulation. However in modern schemes of heating points the connected submission of heat in systems of hot water supply and heating is applied. The method of mathematical modeling had been solved a problem of definition of temperature of internal air of premises in view of various factors of thermal accumulation of buildings, at various temperatures of external air and variable water consumption in system of hot water supply. Calculations have shown, that the increase in temperature of water in system of hot water supply washes to cause an adverse thermal mode in heated buildings.

К e y w o r d s: system of the centralized heat supply, the temperature schedule of the central regulation, system of heating, system of hot water supply, an internal thermal mode of premises, factor of accumulation of buildings.

REFERENCES

1. Rafalskaya T.A. Reliability and controllability of systems of centralized heat supply // Eastern European Scientific Journal (Gesellschaftswissenschaften): Düsseldorf (Germany): Auris Verlag, 2016. No. 2. Pp. 228–235.
2. Nauchno-metodicheskoe obosnovanie mikrobiologicheskoy bezopasnosti snizheniya temperatury goryachej vody v sistemakh vodosnabzheniya zakrytogo tipa [The Scientifically and methodical substantiation of microbiological safety of decrease in temperature of hot water in systems of water supply of the closed type]. Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote [The Report of research work]. Moscow, 2015. 48 p. (in Russian)
3. Zinger N.M. Gidravlicheskie i teplovye rezhimy teplofifikatsionnykh system [Hydraulic and thermal modes of heat supply systems]. Moscow, Energoatomizdat, 1986. 318 p. (in Russian)

4. M a l y a v i n a E.G., T s y g a n k o v A.V. Vliyanie razlichnykh faktorov na temp ostyvaniya pomeshcheniya posle otklyucheniya teplosnabzheniya [Influence of different factors on the room cooling down rate after heating is switched off]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2015. No. 1. Pp. 53–59. (in Russian)
 5. P e r e k h o z h e n t s e v A.G. Normirovanie soprotivleniya teploperedache naruzhnykh o grazhdeniy zdaniy po usloviyu teplovogo komforta v pomeshchenii [Normalization of resistance of heat transfer of external protections of buildings on the condition of thermal comfort in premises]. Vestnik MGSU [Bulletin MSSU]. 2016. No. 2. Pp. 173–185. (in Russian)
 6. B o d r o v V.I., K o r y a g i n M.V. Metodika rascheta teplovogo rezhma zdaniy massovoy zastroyki v period «temperaturnykh srezov» [Procedure of heat supply calculation for block of flats in the period of «heat cuts»]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2007. No. 2. Pp. 42–46. (in Russian)
 7. K o n o n o v i c h Yu.V. Teplovoy rezhim zdaniy massovoy zastroyki [Thermal mode of buildings mass construction]. Moscow, Stroyizdat, 1986. (in Russian)
 8. P o p u r i n L.S. Prirodno-tehnogennye avarii v sistemakh teplosnabzheniya [Nature and technogenic failures in systems of heat supply]. Vestnik RAN [Bulletin RAS]. 2000. T. 70, No. 7. Pp. 604–610. (in Russian)
-

УДК 628.3 : 625.711

А.Н. КИМ, Е.О. ГРАФОВА

ОСОБЕННОСТИ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОКОВ ФЕДЕРАЛЬНОЙ ТРАССЫ «КОЛА»

В работе обосновывается необходимость очистки поверхностных стоков с территории автодорог. Проводится анализ сооружений очистки поверхностных вод на автотрассах. Чаще всего устанавливаются сооружения, размещаемые в колодцах. На территориях с высоким уровнем грунтовых вод и скальных грунтов возводятся наземные сооружения. Оптимальным для сбора большего количества нефтепродуктов является применение торфоплит.

Ключевые слова: поверхностный сток, сорбция, торфоплита, фильтр малой толщины, фильтрующий модуль.

В Транспортной стратегии России запланировано увеличение протяженности дорожной сети до 2030 г. с 950 до 1500 тыс. км за счет нового строительства, также предусматриваются и реализуются проекты по ремонту и реконструкции существующих трасс. При масштабном строительстве в условиях вступления в действие ряда природоохранных законов возникла необходимость разработки экологических мероприятий по минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Негативное воздействие при строительстве автодорог оказывается на почвы, поверхностные и подземные воды, растительный и животный мир, возникают воздушные загрязнения при взрывных работах и эксплуатации строительной техники.

Основным документом, регулирующим обращение с водными объектами, является Водный кодекс РФ от 16.11.1995 г. № 167-ФЗ, вступивший в действие с 1 января 2007 г., согласно которому собственники водных объектов, а также физические или юридические лица, использующие их или прилегающие к ним территории, осуществляют мероприятия по охране водных объектов, предотвращению их загрязнения, засорения и истощения вод, а также меры по ликвидации последствий указанных явлений. При этом запрещаются:

– сброс в водные объекты сточных вод, не подвергшихся санитарной очистке, обезвреживанию, а также не соответствующих требованиям технических регламентов;

– строительные, дноуглубительные, взрывные, буровые и другие работы, связанные с изменением дна и берегов водных объектов в водоохранных зонах (в границах особо ценных водно-болотных угодий они осуществляются в соответствии с требованиями законодательства в области охраны окружающей среды и законодательства о градостроительной деятельности).

Весомый вклад в загрязнение окружающей среды вносят поверхностные атмосферные стоки. Они оказывают воздействие на водно-воздушный режим земляного полотна и дорожных одежд. Наибольший вред устойчивости дорожной конструкции причиняет свободная вода, находящаяся в конструк-

тивных слоях дорожной одежды. Давление от колес транспортных средств вызывает перемещение этой воды в слоях дорожной одежды и их разрушение. Интенсивные дождевые осадки и сток талых вод способствуют размыву откосов насыпи и возникновению эрозионных и оползневых процессов. В связи с этим особое значение при устройстве дорожного полотна приобретают водоотводные каналы и выпуски.

Как правило, поверхностный сток с полотна дороги отводится за пределы автодороги и сбрасывается на рельеф или в водные объекты. В связи с интенсивностью движения по автодорогам поверхностный и талый сток является источником загрязнения поверхностных, подземных вод и прилегающих территорий. Дождевой сток смывает растворимые и нерастворимые примеси, а также частицы пыли и газа, находящиеся в приземных слоях атмосферы.

Основной источник загрязнения стока взвешенными веществами с дорог, мостовых переходов и подходов к ним – продукты разрушения дорожного покрытия и истирания шин, частицы грунта с колес автотранспорта, накапливающиеся за межуборочный период, пыль, продукты эрозии откосов дорожного полотна и придорожных кюветов.

Источником загрязнения стока нефтепродуктами являются розливы топлива при заправке и дозаправке, утечки антифриза – токсичной жидкости, на 95 % состоящей из этиленгликоля, насыщенной свинцом, медью, цинком, кадмием, хромом, масляные фильтры, отработанные моторные масла и прочие углеводороды, попадающие из транспортных средств на поверхность дорожного полотна. Загрязнение нефтью оказывает отрицательное воздействие на химические, физические и биологические свойства почв. Под влиянием нефти и ее компонентов изменяется численность микроорганизмов основных физиологических групп, ухудшаются агрофизические, агрохимические свойства почвы, снижаются активность окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов, обеспеченность почвы подвижными формами азота и фосфора. Ароматические углеводороды токсичны для ферментативной активности микроорганизмов почвы. Наиболее чувствительны к загрязнению ими нитрифицирующие и целлюлозоразрушающие микроорганизмы, которые могут служить индикаторами загрязнения почв.

Загрязнение нефтью существенно изменяет комплекс почвенных актиномицетов, снижая их численность и обедняя видовой состав. Кроме того, в загрязненной почве возрастает число фитопатогенных и фитотоксичных видов микроскопических грибов. Развитие фитотоксичных форм грибов может усилить отрицательное воздействие на почву нефтяного загрязнения [1].

При попадании нефтепродуктов в почву в интервале концентраций до 1 мл/кг они не оказывают существенного влияния на почвенную микробиоту, а выступают как биологический стимулятор. Более высокие дозы (зона стресса) 1–30 мл/кг приводят к необратимым изменениям микробиологических свойств почвы, а в дальнейшем, к нарушению ее водно-воздушного режима. Затем, в зоне резистентности, они становятся основным трофическим субстратом для углеводородокисляющих микроорганизмов, одновременно угнетая жизнедеятельность других гетеротрофных микроорганизмов,

растений и животных. Наконец, при еще больших дозах, в зоне репрессии, нефть выступает как ингибитор биологической активности почвы.

В случае попадания в водоемы часть нефтепродуктов переносится на определенное расстояние и впоследствии осаждается на дно. Особого внимания заслуживает оценка роли донных отложений при нефтяном загрязнении водных объектов суши. Биогеохимический круговорот автохтонных и аллохтонных веществ в водном объекте изменяется под воздействием нефтепродуктов и полициклических ароматических углеводородов.

Степень накопления гидрофобных органических веществ в донных отложениях зависит от интенсивности протекания следующих процессов:

– сорбции на неорганических сорбентах, находящихся во взвешенном состоянии (глины, оксиды железа, марганца, алюминия, кремния и др.), с последующим осаждением на дно водного объекта; на сорбентах, входящих в состав донных отложений; сорбции органическими соединениями (в первую очередь, гумусовыми веществами);

– аккумуляции гидробионтами с последующей седиментацией продуктов их жизнедеятельности и отмирания.

Претерпевая деструкцию, нефтепродукты достигают дна и служат пищей для бентосных организмов. Обмен веществ протекает и в среде донных отложений, при этом часть веществ бентосных организмов может переходить и захораниваться в составе самих донных отложений. На степень и характер сорбции нефтепродуктов влияет специфика водного объекта: морфометрия дна, гидрологический и гидрохимический режимы, степень трофности, особенности водосбора, характер поступления сточных вод и т.д.

С целью предотвращения попадания взвешенных веществ и нефтепродуктов в окружающую среду с 2007 г. в проектах строительства и реконструкции автодорог планировались сбор и очистка поверхностных стоков. Первоначально в проектах предусматривались рас пространенные на тот момент весьма дорогостоящие емкостные проточные сооружения из пластика типа «ЛАБКО», «ОЗОН», «FloTenk» и других производительностью 10–20 л/с.

Однако со временем применение сооружений данного типа и их сравнение с сооружениями, запроектированными в соответствии со СНиП 2.04.03–85, показывают, что технологические решения и конструкции подобных установок имеют ряд недостатков:

1. Часто при пересчете емкостных сооружений в соответствии с действующими в Российской Федерации нормами проектирования, габариты сооружений в 50–100 раз превышают габариты очистных систем с аккумулированием стока, а суммарный годовой коэффициент полезной загрузки технологического оборудования составляет не более 10–15 %;

2. Продолжительность пребывания загрязненных вод в секциях отстаивания установок (даже при отсутствии осадка в донной части) составляет от 1,5 до 20 мин. За это время в осадок выделяется только грубодисперсная часть взвеси. Учитывая, что в дождевом стоке содержатся в основном мелкодисперсные взвешенные вещества, прогнозируемая реальная эффективность задержания взвешенных веществ в секциях отстаивания установок составит не более 15–20 %;

3. Применение коалесцентного блока на очистных сооружениях ливневого стока противоречит принципам этого метода из-за большого процентного содержания тонкодиспергированной взвеси, препятствующей процессу коалесценции. Коалесцирующие вставки используются для повышения эффективности удаления из воды механически диспергированных нефтепродуктов. Нарушение условий минимального содержания в очищаемом стоке механических примесей приводит к стабилизации эмульсии, быстрому загрязнению поверхности коалесцирующих элементов и блокировке процесса коалесценции. Принимая во внимание низкую степень очистки от взвешенных веществ на стадии отстаивания в проточных очистных установках, узел коалесценции через короткое время практически выключается из работы. Оставшиеся в воде растворенные нефтепродукты не могут быть извлечены коалесценцией, так как она эффективна при удалении нефтепродуктов до остаточных концентраций от нескольких единиц до нескольких десятков миллиграммов на литр [2];

4. На территории размещения локальных очистных сооружений (ЛОС) отсутствует электроснабжение, в связи с этим исключены электрообогрев сооружений, насосная перекачка очищенного стока, откачка осадка, подъем отработанных сорбционных блоков, возможно только самотечное движение стоков;

5. Перепад отметок между полотном дороги и прилегающей местностью или уровнем воды в водоприемнике дождевого стока колеблется от 0,5 до 1,5 м, тогда как выпуск очищенных стоков при подземном размещении (из условия непромерзания) ЛОС проходит ниже поверхности земли или воды в водоеме на 2,0–3,0 м;

6. С учетом диаметра емкостных элементов ЛОС ($D = 1,5\text{--}2,0$ м) требуется устройство котлована глубиной до 4,5 м, размером по поверхности в плане $15,0 \times 6,0$ м, что в условиях заболоченных, водонасыщенных или скальных придорожных территорий, наиболее типичных на Северо-Западе, нецелесообразно. В водонасыщенных грунтах необходимы дополнительные мероприятия, препятствующие всплытию герметичных емкостей, что несет дополнительные затраты;

7. Производительность сооружений подбирается по величине расходов сточных вод, отводимых в придорожный лоток. Для определения расхода выбираются наивысшие точки по профилю дороги и устанавливается участок, имеющий уклон в сторону водного объекта. В зависимости от градуса уклона и профиля дороги, по ходу движения стоков вниз по уклону определяется место переполнения придорожного водоотводного лотка и место выпуска стоков с дороги. В местах размещения водослива устанавливаются очистные сооружения. Чаще всего расход составляет $0,3\text{--}3,0$ л/с. Таким образом, сбор больших расходов стоков для очистки в сооружениях большей производительности не всегда возможен по причине быстрого переполнения органичного профиля водосборной приобочинной канавы.

На рис. 1 показан профиль ЛОС в случае применения емкостной водоочистной установки подземного размещения.

В период с 2008 по 2016 г. по федеральной трассе «Кола» от Санкт-Петербурга через Петрозаводск, Мурманск, Печенгу до границы с Норвегией

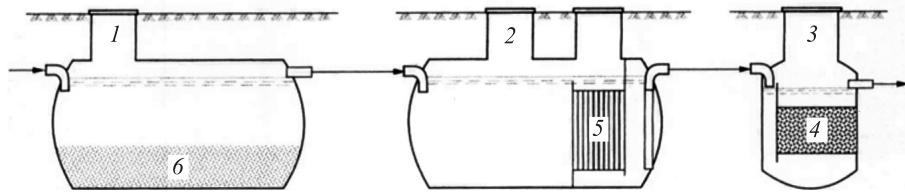


Рис. 1. Емкостной проточный подземный комплекс очистных сооружений поверхностного стока

1 – пескоотделитель; 2 – нефтеотделитель; 3 – угольный фильтр доочистки; 4 – фильтровальная загрузка; 5 – коалесцентный модуль; 6 – осадок [2]

(МПП «Борисоглебск») реконструировано и отремонтировано 179 км дороги участками от 10 до 30 км. На различных участках дорог установлено 887 локальных очистных сооружений, характеристика и производительность которых представлены в табл. 1.

Из общего количества локальных сооружений (рис. 2) 63 % составляют фильтры, размещенные в железобетонных колодцах, которые устанавливаются в период отсыпки откосов.

Таблица 1. Локальные очистные сооружения, построенные на автодороге «Кола»

Тип очистных сооружений	Количество, шт.	Технические характеристики	Расход стоков, л/с
Однокорпусное ЛОС, подземное	23	Железобетонный колодец	1,5
Однокорпусное ЛОС, подземное	221	Модуль фильтрующий пластик $H = 1200, L = 900, b = 200$	1,3–1,9
ЛОС модульного типа «FloTenk»	7	Емкость стеклопластика $d=1,0 \text{ h}=1,8$	14,4
Однокорпусное ЛОС, подземное	22	Железобетонный колодец, 1 шт.	1,3–3,5
Однокорпусное ЛОС, подземное	30	Железобетонный колодец, 1 шт.	1,2
Двухкорпусное ЛОС, подземное	112	Железобетонный колодец $d = 1 \text{ м}, 2 \text{ шт.}$	1,9
Однокорпусное ЛОС, подземное	13	Железобетонный колодец $d = 1 \text{ м}$	2,4
Однокорпусное ЛОС, подземное	8	Железобетонный колодец $d = 1,5 \text{ м}$	1,8
Трехкорпусное ЛОС, подземное	4	Емкость стеклопластика	15
Фильтрующий патрон НПП «Полихим»	11	НПП «Полихим», железобетонные колодцы	4–8 $\text{м}^3/\text{ч}$
Однокорпусное ЛОС, подземное	2	Железобетонный колодец	2,5
Однокорпусное ЛОС, подземное	102	Железобетонный колодец	3
Комплексная система очистки, подземное	29	«FloTenk», стеклопластиковая емкость	1,9
Однокорпусное ЛОС, наземное	233	Металлический корпус ДС-ЧВ-0,6	0,6
Однокорпусное ЛОС, наземное	50	Металлический корпус ДС-ЧВ-2,4	2,4
Трехкорпусное ЛОС, подземное	6	Емкость стеклопластика	20
ЛОС «ОЗОН ОСП-3»	2	«ОЗОН ОСП-3» металлический корпус	3
Однокорпусное ЛОС, подземное	12	«ОЗОН ОСП-10» металлический корпус	10

Размещение фильтров в железобетонных колодцах имеет ряд особенностей:

1. Сооружения не выступают за пределы профиля дороги и находятся в откосах;
2. Сбор стоков осуществляется через люк-дождеприемник;
3. Все операции по замене фильтрующих элементов, выемке песка происходят через люк;
4. Стоки поступают с края обочины;
5. Минимальная строительная высота сооружений 1,5 м.

Применение в качестве загрузки активированного угля исключает возможность его систематической промывки (регенерации), что является обязательным условием работы данного сорбента. Таким образом, может осуществляться только один фильтроцикл – весьма короткий. Необходима замена угольной загрузки на новую (5–6 раз в течение сезона), что повышает стоимость эксплуатации сооружений в несколько раз.

Один из примеров размещения сооружений очистки поверхностного стока непосредственно в дождеприемном колодце – фильтрующий модуль ФМС, разработанный «Эковод» и кафедрой водоснабжения СПбГАСУ (рис. 3).

Фильтрующие модули имеют оптимальный диапазон типоразмеров (табл. 2).

В ФМС дождевого стока могут применяться следующие типы сорбционных загрузок: элементы фильтрующие торфяные (ЭФТ); торфосорбент; сорбент НОВОСОРБ. Для глубокой доочистки стоков используются сорбенты БАУ-А, АГ-3, МАУ.

Другой разновидностью сооружений для очистки поверхностных стоков являются наземные

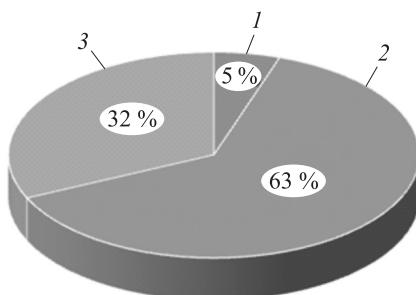


Рис. 2. Типы емкостей, применяемые при строительстве и реконструкции автодороги «Кола»

1 – емкостное; 2 – колодец; 3 – наземное

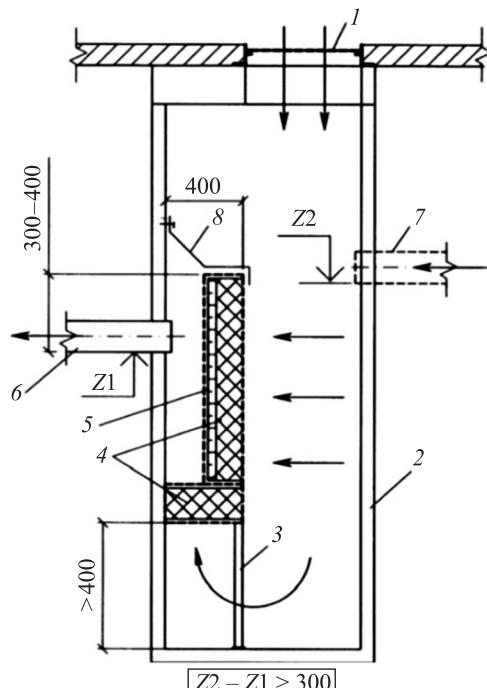


Рис. 3. Дождеприемник с фильтрующим модулем

1 – люк с решеткой; 2 – железобетонный колодец; 3 – опорная стойка; 4 – сорбционная загрузка; 5 – волокнисто-пористая фильтрующая подложка; 6 – отводящий трубопровод; 7 – подводящий трубопровод; 8 — защитный козырек [3]

Таблица 2. Характеристика типоразмеров фильтрующих модулей

Марка изделия	Диаметр колодца, м	F_ϕ , м ²	V_ϕ , м/ч	Гидравлическая нагрузка	
				м ³ /ч	л/с
ФМС-1,0	1,0	0,9	5–7,5	4,5–6,8	1,3–1,9
ФМС-1,5	1,5	1,2	5–7,5	6,0–9,0	1,7–2,5
ФМС-1,5*	1,5	1,6	5–7,5	8,0–12,0	2,2–3,3
ФМС-2,0	2,0	1,7	5–7,5	8,5–12,8	2,4–3,5
ФМС-2,0*	2,0	2,4	5–7,5	12,0–18,0	3,3–5,0
ФМС-2,0**	2,0	3,2	7,5–10	24,0–32,0	6,7–8,9

сооружения ДС-ЧВ, разработанные на кафедре водоснабжения и водоотведения Петрозаводского госуниверситета. Они имеют следующие особенности:

1. ЛОС устанавливаются на откосе (наземные или мелкозаглубленные самотечные лотки);
2. Очистные сооружения размещаются за пределами придорожной полосы, размером 4 м, регламентируемой СНиП 2.05.02–85. Автомобильные дороги;
3. Отведение дождевых и талых стоков на очистные сооружения наземного размещения совершается без нарушения профиля земляного полотна;
4. Очистка дождевых и талых стоков происходит на сорбционном многослойном фильтре;
5. В рабочем режиме очистка стоков осуществляется в заполненном состоянии;
6. В период отсутствия дождей стоки стекают через «продувочное» отверстие, сорбционный фильтр находится в «сухом» состоянии;
7. Сорбционная емкость многослойного фильтра обеспечивает продолжительность фильтроциклов на период 1–2 года;
8. Разработаны два типоразмера очистных сооружений ЛОС ДС-ЧВ-0,6 производительностью 0,6 л/с и ЛОС ДС-ЧВ-2,4 производительностью 2,4 л/с [4];
9. Возможность удобной замены сорбционной загрузки фильтра на поверхности земли [5].

Схема конструкции придорожного многослойного фильтра представлена на рис. 4.

Отличительной особенностью фильтров, представленных на рис. 3 и 4, является применение в качестве сорбционной загрузки торфяных элементов. ЭФТ – специально подготовленные элементы из натурального природного адсорбента – верхового мохового торфа. Переработка сырья в фильтрующий материал основана на улучшении природных сорбционных свойств торфа и исключает иные компоненты. Материал формуется в удобные брикеты для использования в фильтрах. Они предназначены для борьбы с разливами нефтепродуктов и очистки газовых выбросов. Утилизация ЭФТ может проводиться путем сжигания в котельных, работающих на твердом топливе.

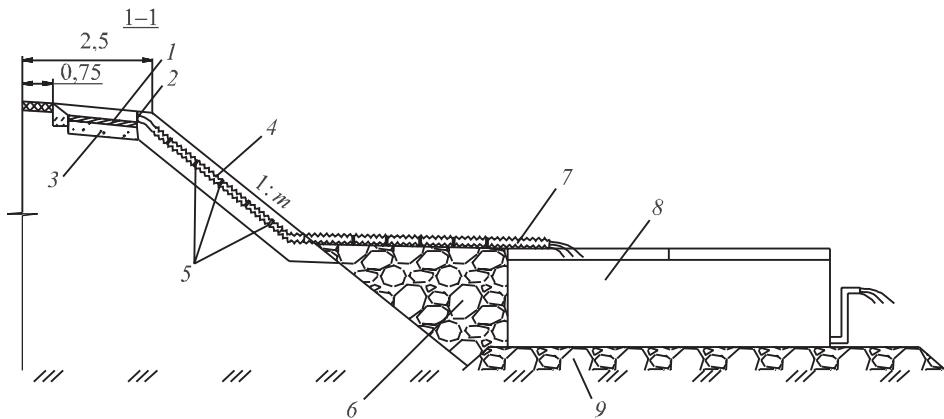


Рис. 4. Локальные очистные сооружения с сорбционными слоями малой высоты [5]
 1 – монолитный бетон В-15; 2 – дождеприемник ДЖ-2-МТЛ; 3 – щебеночная подготовка толщиной 0,10 м; 4 – труба ливнестока, $D = 110$ мм; 5 – крепления к грунту; 6 – каменная наброска, $d = 100\text{--}150$ мм; 7 – распределитель стока РС-2; 8 – фильтр ДС-ЧВ-0,6, ДС-ЧВ-2,4; 9 – каменная наброска, $d = 100\text{--}150$ мм ($H = 100$ мм)

Технические характеристики ЭФТ:

Скорость фильтрации, м/ч	до 20
Объемный вес, г/дм ³	80–100
Потери напора за фильтроцикл, см	0,002 м на 1 см фильтрослоя
Грязеемкость по нефтепродуктам, кг/кг	4,0

Эксперименты [6] показали, что изотерма сорбции на торфе в исследованном диапазоне концентраций имеет выпуклый характер (рис. 5), причем она весьма близка к линейной.

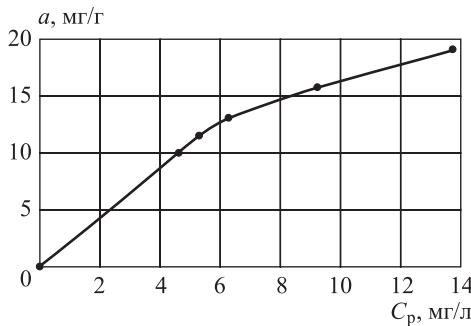


Рис. 5. Изотерма сорбции нефтепродуктов на сорбенте ЭФТ

C_p – концентрация нефтепродуктов по истечении равновесного времени

a – концентрация в фазе сорбента в момент времени t ;

C_0 – концентрация в растворе в начальный момент времени $t = 0$.

Уравнение кинетики сорбции для случая больших коэффициентов распределения Γ , когда можно пренебречь влиянием сорбционного торможения в сорбенте (это эквивалентно случаю прямоугольной изотермы), имеет вид:

$$\frac{da}{dt} = \beta C, \quad \text{если } a < a_0, \quad (2)$$

где a_0 – емкость сорбента.

Совместно с уравнением баланса (1) образуется система, преобразующаяся в дифференциальное уравнение:

$$-\frac{V}{m} \frac{dC}{dt} = \beta C, \quad \text{если } a < a_0, \quad (3)$$

решение которого при условии $C(0) = C_0$ имеет вид:

$$C = C_0 \exp(-\beta mt/V). \quad (4)$$

Последнее выражение можно представить как

$$\ln(C/C_0) = -\beta mt/V. \quad (5)$$

Используя это уравнение, из кинетических кривых можно рассчитать коэффициент внешней диффузии β , учитывая соотношение времени установления равновесия. Например, для эксперимента, проводимого в [6] (40 мин для пенополиуретана, 20 – для торфоплит), можно получить:

$$\beta_{пп}/\beta_t = 40/20 = 2,$$

т.е. величина кинетического коэффициента для пенополиуретана $\beta_{пп}$ в 2 раза меньше β_t для торфоплит.

Таким образом, торфоплита обладает емкостью в 2,5 раза меньшей, чем пенополиуретан, но в 2 раза лучшей кинетикой сорбции.

Очевидно, что в условиях больших перепадов между отметкой дороги и основанием откоса наиболее оптимальными для безопасного дорожного движения сооружениями для очистки поверхностного стока с поверхности автотрасс являются фильтры, установленные в колодцах. В случаях малых перепадов между отметкой дороги и основанием откоса целесообразны сооружения поверхностного размещения.

Экономическая эффективность применения торфяных фильтрующих материалов определяется рядом факторов:

- торфяной фильтрующий материал применяется без предварительной обработки, заменяет искусственные материалы;
- утилизация отработанного материала производится путем сжигания в котельных, работающих на твердом топливе;
- материал является возобновимым и недорогим по сравнению с синтетическими аналогами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Киреева Н.А., Галимзянова Н.Ф. Влияние загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами на численность и видовой состав микромицетов // Почвоведение. 1995. № 2. С. 211–216.
2. Ивкин П.И., Меншутин Ю.А., Соколова Е.В., Фомичева Е.В., Кедров Ю.В. Эффективность очистных сооружений ливневого стока проточного типа // Водоснабжение и сан. техника. 2012. № 1. С. 52–58.
3. Ким А.Н., Захаревич М.Б., Романова Ю.В. Актуальные проблемы поверхностного стока с территории городов и практические пути их решения // Вестн. граждан. инженеров. 2014. № 1 (52). С. 87–94.

4. Графова Е.О., Аюкаев Р.И., Веницианов Е.В. Математическое моделирование в исследовании процессов водоочистки. Сообщ. 2. «Сухое» фильтрование // Учен. зап. Петрозавод. гос. ун-та. Сер. Естественные и технические науки. 2009. № 7. С. 18–25.
5. Михайлов А.В., Ким А.Н., Продоус О.А., Графова Е.О., Рублевская О.Н. Водоотведение и очистка поверхностного стока на торфяных фильтрах. СПб.: Сборка. 2014. 134 с.
6. Веницианов Е.В., Графова Е.О., Аюкаев Р.И., Чуднова Т.А. Многослойные сорбционные фильтры на защите водоохраных зон автотрасс от загрязнения // Вода: химия и экология. 2012. № 12 (54). С. 32–41.

Ким Аркадий Николаевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: kimkan17@mail.ru
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Графова Елена Олеговна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: jethel@rambler.ru
Петрозаводский государственный университет

Получено 07.10.16

Kim Arkadiy Nikolaevich, DSc, Professor; E-mail: kimkan17@mail.ru
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russia
Grafova Elena Olegovna, PhD, Ass. Professor; E-mail: jethel@rambler.ru
Petrozavodsk State University, Russia

THE FEATURES OF SURFACE WASTE WATER TREATMENT FROM FEDERAL HIGHWAY «KOLA»

There are necessity of rainwater clean from the road surface. The analysis of surface water treatment facilities used on highways. The most common facilities are placed in the wells. In areas with a high water table and rocky soils are installed above-ground structures. The best for collect of oil products is the using of peat stoves.

Keywords: rain sewage, sorption, slabs of peat, low-level filter, filter module.

REFERENCES

1. Kireeva N.A., Galimzyanova N.F. Vliyanie zagryazneniya pochv neft'yu i nefteproduktami na chislennost' i vidovoy sostav mikromitsetov [Effect of soil contamination with oil and oil products on the numbers and species composition mikromitets]. Pochvovedenie. [Soil science]. 1995. Pp. 211–216. (in Russian)
2. Ivkin P.I., Menshutin Yu.A., Sokolova E.V., Fomicheva E.V., Kedrov Yu.V. Effektivnost' ochistnykh sooruzheniy livnevogo stoka protchnogo tipa [The effectiveness of treatment facilities of storm water flow type]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2012. Pp. 52–58. (in Russian)
3. Kim A.N., Zakharevich M.B., Romanova Yu.V. Aktual'nye problemy poverkhnostnogo stoka s territorii gorodov i prakticheskie puti ikh resheniya [Actual problems of surface runoff from urban and practical ways of solving]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. 2014. No. 1(52). Pp. 87–94. (in Russian)
4. Grafova E.O., Ayukayev R.I., Venitsianov E.V. Matematicheskoe modelirovaniye v issledovanii protsessov vodoochistki. Soobshchenie 2. «Sukhoe» fil'trovaniye [Mathematical modeling in the study of water treatment processes. Part 2.

- «Dry» filtering]. Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennoro universiteta. Seriya: Yestestvennye i tekhnicheskie nauki [Scientific notes of Petrozavodsk State University]. 2009. No. 7. Pp. 18–25. (in Russian)
5. Mikhailov A.V., Kim A.N., Prodous O.A., Grafova E.O., Rublevskaya O.N. Vodootvedenie i ochistka poverkhnostnogo stoka na torfyanykh fil'trakh [Collection and treatment of surface runoff on peat filters]. Saint-Petersburg, 2014. 134 p. (in Russian)
6. Venitsianov E.V., Grafova E.O., Yukarev R.I., Chudnova T.A. Mnogosloynye sorbsionnye fil'try na zashchite vodookhrannyykh zon avtotrass ot zagryazneniya [Multilayer sorption filters to protect the water protection zones of highways from pollution]. Voda: khimiya i ekologiya [Water: chemistry and ecology]. 2012. No. 12(54). Pp. 32–41. (in Russian)
-

УДК 628.344 : 621.357

О.Г. ГИРИКОВ

К РАСЧЕТУ ОТСТОЙНИКОВ В СХЕМАХ РЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЦЕХОВ

Предложена методика расчета отстойников в схемах реагентной очистки сточных вод цехов гальванопокрытий, которая, в отличие от существующих рекомендаций, учитывает не только вид оседающих гидроксидов, но и их концентрацию. Экспериментально получены зависимости условной скорости осаждения гидроксидов хрома, железа, меди, никеля и цинка от концентрации соответствующего металла в осветляемой сточной воде, поступающей в отстойники. Использование данной методики позволит более точно учитывать скорость осаждения гидроксидов различных металлов при расчете отстойников, что может дать определенный экономический, технологический или экологический эффект при проектировании новых или реконструкции действующих очистных сооружений.

Ключевые слова: гальванические цеха, сточные воды, реагентная очистка, отстойники, методика расчета.

Гальванические цеха и отделения имеются на большом числе предприятий различных отраслей промышленности (машино-, станко- и авиастроения, инструментальных, металлургических заводах, предприятиях электротехнического профиля и приборостроения и т.д.). В эксплуатации наиболее простым, надежным и экономичным является реагентный метод очистки или его комбинация с другими методами (реагентный с последующим электродиализом, ионным обменом и др.). Так, до 90 % хромсодержащих и примерно такое же количество циансодержащих и кисло-щелочных сточных вод обезвреживается реагентным методом [1]. Поэтому совершенствование технологии реагентной очистки сточных вод гальванических цехов, методов расчета и проектирования сооружений для их очистки является достаточно важным и актуальным, особенно при проектировании новых, расширении и реконструкции действующих очистных сооружений. В какой-то мере это относится и к данной статье.

Общая схема реагентной очистки сточных вод гальванических цехов представлена на рис. 1, откуда видно, что преимущественно образуется три вида сточных вод (циан- и хромсодержащие и кисло-щелочные). Циансодержащие сточные воды, загрязненные в основном простыми и комплексными цианидами меди, цинка, кадмия и т.д., подщелачиваются до $\text{pH} = 10\text{--}11$ и смешиваются с окислителем (гипохлоритом натрия, хлорной известью, хлором, озоном, пероксидом водорода и т.д.). После чего поступают в реактор, где в течение примерно 15 мин происходит окисление цианидов до цианатов, которые затем гидролизуются до безвредных соединений (например, карбонатов и ионов аммония). После обезвреживания циансодер-

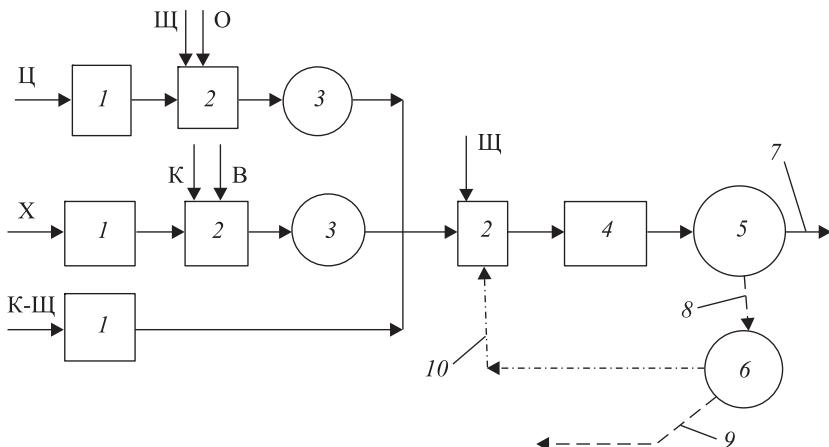


Рис. 1. Принципиальная схема реагентной очистки сточных вод гальванических цехов

Ц – циансодержащие сточные воды; Х – хромсодержащие и К-Щ – кисло-щелочные сточные воды; О – окислитель; В – восстановитель; К – кислота; Щ – щелочь; 1 – усреднитель сточных вод; 2 – смеситель; 3 – камера реакции; 4 – камера нейтрализации; 5 – отстойник; 6 – шламоуплотнитель; 7 – очищенная сточная вода; 8 – осадок; 9 – уплотненный шлам на обезвоживание; 10 – иловая вода

жащие сточные воды смешиваются с общим потоком хромсодержащих и кисло-щелочных сточных вод.

Хромсодержащие сточные воды отводятся отдельно или совместно с кисло-щелочными стоками, смешиваются с восстановителем (сульфитом, бисульфитом или пиросульфитом натрия, железным купоросом и т.д.), поступают в реактор, в котором происходит восстановление хрома (VI) в (III) в течение 30 мин при оптимальной pH = 2–3. Если pH хромсодержащей сточной воды выше 3–4, то для снижения расхода восстановителя и времени восстановления в очищаемую воду добавляют серную кислоту. После восстановления Cr⁶⁺ в Cr³⁺ в реакторе данные сточные воды смешиваются с обезвреженными циансодержащими и кисло-щелочными, затем со щелочью и поступают в камеру нейтрализации, после которой общий поток смеси сточных вод направляется в отстойники. В них происходит осаждение основной массы тяжелых металлов в виде гидроксидов и других загрязнений, т.е. идет осветление нейтрализованных сточных вод. Дальнейшая очистка осуществляется на осветительных зернистых фильтрах, которые на многих предприятиях, к сожалению, отсутствуют, и сточные воды после отстойников сливаются в городскую канализацию или в водоемы. Поэтому от работы отстойников во многом зависит общая эффективность всех очистных сооружений сточных вод гальванических цехов.

Следует отметить, что на ряде предприятий, где не используются цианистые электролиты, циансодержащие сточные воды отсутствуют.

Производительность всех типов отстойников прямо пропорционально зависит от гидравлической крупности оседающей взвеси (u_0 , мм/с), которую рекомендуется определять по СНиП 2.03.04. Канализация. Наружные сети и сооружения. Однако не совсем понятно, как устанавливать гидравлическую крупность частиц гидроксидов различных металлов. Например, реко-

мендации по проектированию водоснабжения и канализации гальванических цехов¹ предлагают определять u_0 в зависимости от диаметра частиц гидроксидов металлов d . Так, при температуре воды 20 °C и $d = 0,005$ мм значение $u_0 = 0,2$ мм/с, при $d = 0,05\text{--}0,15$ мм – $u_0 = 0,25$ мм/с и при $d = 0,1$ мм – $u_0 = 0,3$ мм/с. Но далеко не всегда известен диаметр осаждающихся частиц. Кроме того, хлопья гидроксидов различных металлов относятся к коагулируемымзвезиям, а поэтому имеют различный диаметр, который также изменяется в процессе осаждения. Данные рекомендации не учитывают плотность хлопьев, влияющую на величину u_0 . При одинаковых диаметрах частиц она будет прежде всего зависеть от вида гидроксида металла, формы и структуры хлопьев, на которую влияет даже вид нейтрализующего реагента.

В монографии [1] отмечается, что гидравлическая крупность частиц гидроксидов, образующихся в процессе нейтрализации, составляет 0,1–0,4 мм/с. Размер взвешенных частиц лежит в диапазоне 0,5–100 мкм, при этом значительная их часть имеет размер менее 10 мкм и скорость осаждения менее 0,1 мм/с. С учетом вышеизложенного непонятно, чем руководствоваться при выборе гидравлической крупности взвеси при расчете отстойников в схеме реагентной очистки сточных вод цехов гальванопокрытий, т.е. принять 0,4 мм/с или менее 0,1 мм/с. В последнем случае объемы отстойников или их количество будут, по крайней мере, в 4 раза больше, чем в первом.

Фактически концентрации тяжелых металлов в промывной сточной воде могут колебаться в среднем от 2–10 мг/л до нескольких десятков и даже сотен. При сливе же отработанных гальванических или травильных ванн концентрация того или иного металла в промывной воде на короткий период возрастает в сотни и даже тысячи раз, так как концентрация меди и цинка в отработанных растворах составляет от 10 до 150 г/л (кг/м³), никеля 50–200, железа 100–200, а хрома (VI) до 50 г/л и более.

Следует отметить, что отработанные гальванические ванны от отдельных операций могут регенерироваться, но это требует значительных затрат и не всегда экономически целесообразно. Например, при регенерации электродиализом отработанного хромсодержащего раствора от пассивирования изделий из латуни (очистка от меди, цинка, хрома (III)) требуется не менее 1200 кВт · ч/м³ электроэнергии при продолжительности электролиза 6 ч, а аналогичного раствора от осветления медных труб – 1750–2000 кВт · ч/м³ при продолжительности процесса 10–15 ч [2]. Поэтому большинство отработанных гальванических, травильных и других ванн сливаются вместе с промывными сточными водами и поступает на локальные очистные сооружения. В результате периодических сливов, даже после разбавления и усреднения сливаляемых ванн, концентрация тяжелых металлов в сточной промывной воде повышается до сотен и даже тысяч миллиграммов на литр. При таких высоких концентрациях тяжелых металлов в сточной воде после обезвреживания и нейтрализации загрязнений образуется сплошной слой гидроксида соответствующего металла, который подобен слою хлопьевидного звездчатого осадка осветителей. В данном случае наблюдается не

¹ Рекомендации по проектированию водоснабжения и канализации цехов гальванопокрытий / ГПИ «Сантехпроект». М.: Госстрой СССР, 1981. С. 151.

свободное, а стесненное осаждение взвешенных частиц гидроксидов тяжелых металлов. Поэтому при расчете отстойников правомерно заменить гидравлическую крупность отдельных частиц u_0 , мм/с, на условную скорость свободного осаждения взвеси в стесненных условиях U_y , мм/с, принятую в теории осветлителей [3], которая зависит от u_0 и их объемной концентрации C_0 , в долях единицы. При значениях C_0 в широком интервале от 0 до 0,15 значение U_y рекомендуется вычислять по формуле [3]:

$$U_y = u_0(1 - 3,5 C_0). \quad (1)$$

Для определения физических свойств оседающей взвеси предложена методика, применяемая при расчете и моделировании работы осветлителей со слоем взвешенного осадка [3]. Поскольку хлопья гидроксидов тяжелых металлов относятся к коагулируемым взвесям, рекомендуется изучать их осаждаемость в стеклянных колонках высотой, соизмеримой с глубиной производственных отстойников². Подобные опыты проводились на стеклянной колонке высотой 3000 мм и внутренним диаметром 57,5 мм. Кинетика понижения границы взвешенного слоя осадка представлена на рис. 2, при этом четко выделяются участки I–III. На участке I происходило понижение границы раздела осветленной воды и взвешенного слоя с постоянной скоростью (наблюдалось состояние беспорядочной циркуляции взвеси, т.е. зона стесненного осаждения взвеси). На участке II циркуляция частиц прекращалась и образовывалась сплошная пространственная структура, на участке III постепенно уменьшались поры между частицами, плотность структурированного осадка приближалась к плотности составляющих его хлопьев и положение границы осевшего слоя практически стабилизировалось.

Опыты по определению эффективности осаждения различных гидроксидов в зависимости от концентрации соответствующего металла в сточной воде до ее нейтрализации проводились на водопроводной воде, в качестве источника каждого металла в нее вводилась его сернокислая соль, т.е. сульфаты металлов (меди, железа (II), цинка, никеля). Концентрация металла в каждом опыте рассчитывалась стехиометрически. Поскольку в состав отработанных травильных и многих гальванических растворов входит серная кислота, перед растворением соли сульфата соответствующего металла в водопроводную воду добавлялась серная кислота. В отработанных растворах от

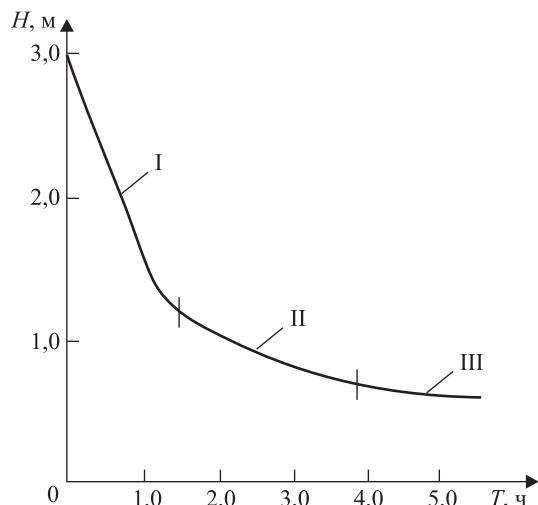


Рис. 2. Кинетика изменения границы раздела слоя осадка и осветленной воды

² Руководство по химическому и технологическому анализу вод / ВНИИВОДГЕО. М.: Стройиздат, 1973. 272 с.

травления черных металлов содержится около 100–300 г/л железного купороса и 30–100 г/л серной кислоты, т.е. соотношение между сульфатом железа и серной кислотой примерно 3:1. Такое соотношение между кислотой, добавляемой в водопроводную воду, и железным купоросом, растворяемым в подкисленной воде, выдерживалось в опытах по изучению осаждения Fe(OH)_2 .

Источником хрома (VI) являлся отработанный раствор ванны хромирования, который разбавлялся водопроводной водой, подкисленной 10%-м раствором серной кислоты до $\text{pH} = 2,5 \pm 0,5$, и восстанавливается в течение 30 мин бисульфитом натрия дозой 5,0–6,5 г/г хрома (VI) в зависимости от его концентрации, т.е. создавались оптимальные условия для его восстановления [1]. Вода с восстановленным хромом нейтрализовалась 10%-м раствором известкового молока и подавалась в 3-метровую стеклянную колонку, где и определялась скорость осаждения и уплотнения Cr(OH)_3 . Концентрация хрома (VI) в очищаемой воде вычислялась по типовой методике с дифенилкарбазидом [4] и изменялась от 80 до 400 мг/л.

Так как во многих случаях хромсодержащие сточные воды отводятся и очищаются с кисло-щелочными, оптимальная pH их смеси с учетом необходимости восстановления хрома (VI) также составляет 2–3 (до 4). Поэтому перед растворением сульфата меди, никеля и цинка в водопроводной воде она подкислялась серной кислотой до $\text{pH} = 2,5\text{--}3,5$.

Поскольку наиболее неблагоприятным периодом для очистки сточных вод отстаиванием является зима, так как холодная вода имеет более высокую вязкость и плотность, в опытах поддерживалась среднезимняя температура осветляемой воды в колонке в течение каждого эксперимента $12 \pm 0,5$ °C, характерная для ряда предприятий.

Результаты экспериментов по изучению зависимости условной скорости свободного осаждения гидроксида соответствующего металла U_y , мм/мин, перед нейтрализацией от его концентрации в воде, поступающей затем в отстойники $C_{\text{мет}}$, мг/л, представлены графически на рис. 3. Хуже всех осаждаются мелкие и легкие хлопья гидроксида хрома, а лучше других – хлопья гидроксида цинка. После математической обработки результатов по методу наименьших квадратов были получены зависимости условной скорости свободного осаждения соответствующего металла U_y , мм/с, от его концентрации в воде, поступающей в отстойники после нейтрализации $C_{\text{мет}}$, мг/л:

для Cr(OH)_3 (при восстановлении сульфитом или бисульфитом натрия) –

$$U_y = \frac{86 - 31,05 \lg C_{\text{Cr}}}{60}; \quad (2)$$

$$\text{Cu(OH)}_2 - \quad U_y = \frac{107,45 - 33,09 \lg C_{\text{Cu}}}{60}; \quad (3)$$

$$\text{Fe(OH)}_2 - \quad U_y = 263 C_{\text{Fe}}^{-1,051}; \quad (4)$$

$$\text{Ni(OH)}_2 - \quad U_y = \frac{97,65 - 29,09 \lg C_{\text{Ni}}}{60}; \quad (5)$$

$$\text{Zn(OH)}_2 - \quad U_y = 356,17 C_{\text{Zn}}^{-0,919}. \quad (6)$$

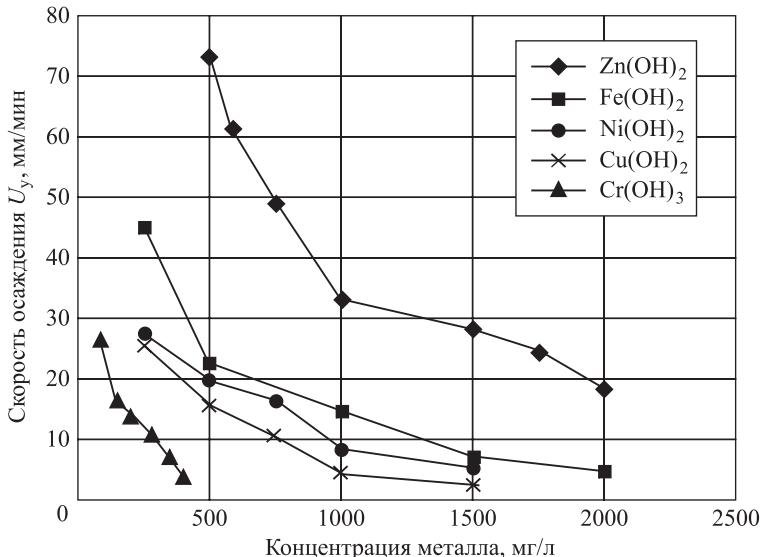


Рис. 3. Зависимости скорости условного осаждения гидроксидов различных металлов U_y , мм/мин, от концентрации соответствующего металла в сточной воде $C_{\text{мет}}$, мг/л, перед ее нейтрализацией

Таким образом, предлагается, задавшись объемом усреднителя состава сточных вод, например, в соответствии с рекомендациями не менее 2-часового среднего расхода сточных вод¹, определить максимальную концентрацию каждого металла в сточной воде после усреднителя. Затем учесть его концентрацию после разбавления данного вида сточных вод другими стоками перед их нейтрализацией. Например, максимальная концентрация хрома (VI) после усреднения, восстановления и разбавления другими сточными водами, в которых хром отсутствует, поступающая на нейтрализацию, а затем в отстойники (см. рис. 1), будет равна, $\text{г}/\text{м}^3(\text{мг}/\text{л})$:

$$C_x = C_{\max} q_x / (q_x + q_{\text{к-щ}} + q_{\text{ц}}), \quad (7)$$

где C_{\max} – максимальная концентрация хрома в сточной воде после усреднителя хромсодержащих стоков, $\text{г}/\text{м}^3$ (некоторым разбавлением в реакторе можно пренебречь);

q_x , $q_{\text{к-щ}}$, $q_{\text{ц}}$ – соответственно часовые расходы хромсодержащих, кисло-щелочных и циансодержащих сточных вод.

Аналогично находятся максимальные концентрации никеля, железа, цинка и меди. Для максимальных концентраций каждого металла по формулам (2)–(6) определяется ряд значений U_y , из которых выбирается наименьшее, и по нему вычисляют производительность и количество отстойников. Причем, в этом случае, в принятых отстойниках тем более задержатся гидроксиды металлов, имеющие более высокую условную скорость свободного осаждения.

Следует отметить, что если на предприятии имеются процессы кислого и цианистого меднения, то определяется максимальная концентрация меди после усреднителя циансодержащих и соответственно кисло-щелочных сточных вод. Затем по формуле (7) вычисляются концентрации меди в смеси

сточных вод перед их нейтрализацией для обоих видов стоков и к расчету отстойников принимается наибольшее значение.

При другой температуре очищаемых сточных вод значение U_t , вычисленное по формулам (2)–(6), может быть определено по известной формуле, дающей достаточно точные результаты в интервале температур $t = 1\text{--}30^\circ$ [3]:

$$U_t = (0,6 + 0,02t)U_y. \quad (8)$$

Кроме основных металлов, для которых получены зависимости (2)–(6), в сточных водах цехов гальванопокрытий могут присутствовать и другие тяжелые металлы (например, кадмий, олово, свинец, кобальт и т.д.). Поэтому желательно получить аналогичные зависимости значений U_y от концентрации таких металлов в осветляемой сточной воде, что может быть следующим этапом подобных исследований.

Выводы. 1. Предложена методика расчета отстойников в схемах реагентной очистки сточных вод гальванических цехов, которая, в отличие от существующих рекомендаций, учитывает зависимость скорости осаждения гидроксидов не только от вида металла, но и от его концентрации перед нейтрализацией и отстаиванием.

2. Полученные зависимости условной скорости свободного осаждения гидроксидов различных металлов от их концентрации (2)–(6) могут использоваться в соответствии с предложенной методикой при расчете отстойников в схемах реагентной очистки сточных вод гальванических цехов, что может дать значительный экономический, экологический и технологический эффект при проектировании новых, расширении или реконструкции действующих локальных очистных сооружений.

3. Следует отметить, что поскольку от степени усреднения состава сточных вод, т.е. от максимальной концентрации иона соответствующего металла в сточной воде после усреднителя, будет зависеть условная скорость осаждения его гидроксида в отстойниках и соответственно объем, полученные формулы (2)–(6) могут быть использованы при решении вопроса оптимизации распределения объемов между усреднителями и отстойниками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Найденко В.В., Губанов Л.Н. Очистка и утилизация промстоков гальванического производства. Н. Новгород: Деком, 1999. 368 с.
2. Генкин В.Е., Кобякова Н.И., Субботин В.А. Регенерация ценных продуктов из высококонцентрированных сточных вод, содержащих хромовую кислоту и ее соли // Физико-химические методы в технологии очистки промышленных сточных вод: Сб. науч. тр. М.: ВНИИВОДГЕО, 1987. С. 47–49.
3. Кургаев Е.Ф. Осветлители воды. М.: Стройиздат, 1977. 192 с.
4. Лурье Ю.Ю., Рыбникова А.И. Химический анализ производственных сточных вод. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1974. С. 184–189.

Гириков Олег Георгиевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: og.gir@mail.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

Получено 17.10.16

Girikov Oleg Georgievich, PhD, Ass. Professor; E-mail: og.gir@mail.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

CALCULATION OF SETTLERS IN SCHEMES OF REAGENT TREATMENT OF GALVANIZING PLANT WASTEWATERS

Calculation method of settlers in schemes of reagent treatment of galvanizing plant wastewater are offered. These methods take into consideration not only the deposited hydroxides type but also their concentration. Dependence of conditional sedimentation speed of chrome, iron, copper, nickel and zinc hydroxides on concentration of appropriate metals in lightened wastewater coming to settler have been obtained. The use of this method will allow to take into account a conditional sedimentation speed of different metals at the calculation of settlers which can give the definite economic, technological and environmental effects during design or reconstruction wastewater plants.

Keywords: galvanizing plants, waste waters, reagent treatment, settlers, calculation method.

REFERENCES

1. Naydenko V.V., Gubanov L.N. *Ochistka i utilizatsiya promstokov gal'vanicheskogo proizvodstva* [Purification and utilization industrial wastewater of galvanic production]. N. Novgorod, Decom, 1999. 368 p. (in Russian)
2. Genkin V.E., Kobylakova N.I., Subbotin V.A. *Regeneratsiya tsennyykh produktov iz vysokokontsentrirovannykh stochnykh vod, soderzhashchikh chromovyyu kislotu i ee soli* [Regeneration valuable products highly concentrated waste water containing chromic acid and its salt]. Fiziko-khimicheskie metody v tekhnologii ochistki promyshlennykh stochnykh vod [Physico-chemical methods in the technology of industrial wastewater treatment: collection of scientific paper]. Moscow, 1987. Pp. 47–49. (in Russian)
3. Kurgaev E.F. *Osvetliteli vody* [Clarifiers water]. Moscow, Stroyizdat, 1977. 192 p. (in Russian)
4. Lur'yе Yu.Yu., Rybnikova A.I. *Khimicheskiy analiz proizvodstvennykh stochnykh vod* [Chemical analysis of industrial wastewater]. Moscow, Chemistry, 1974. Pp. 184–189. (in Russian)

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ



УДК 72.036(46)

Т.В. ДОНЧУК, Е.Н. ПОЛЯКОВ

LA PEDRERA – ДОХОДНЫЙ ДОМ МИЛА В БАРСЕЛОНЕ

Статья посвящена творческому наследию выдающегося каталонского зодчего Антонио Гауди-и-Корнет. В частности, рассмотрен один из его проектов доходных домов в Барселоне – знаменитая «Каменоломня» (Дом Мила, La Pedrera), перечислены основные требования заказчиков к образному и функциональному решению этого здания. Раскрыты особенности планировочной схемы Дома Мила, определенные необычным конструктивным решением каркаса здания. Оценено архитектурное решение его «бионических» фасадов, интерьеров и декоративных деталей, пластические возможности использованных здесь строительных материалов.

Ключевые слова: Каталония, Барселона, Антонио Гауди, Пере Мила-и-Кампс, доходный Дом Мила, генеральный план участка, функционально планировочная схема дома, его «бионические» фасады и декоративные детали, конструктивное решение каркаса, использованные строительные материалы.

Настоящая статья посвящена самому известному произведению выдающегося испанского архитектора Антонио Гауди-и-Корнет (1852–1926), построенному в столице Каталонии – Барселоне. Она продолжает серию наших публикаций о становлении и дальнейшем развитии стиля *Modernisme* (каталонской версии европейского модерна) [1–3 и др.]. Нашим исследованиям предшествовали научные и справочно-информационные публикации об искусстве и архитектуре Каталонии конца XIX – начала XX в. [4–7], архитектурном стиле модерн [8], творческой биографии Антонио Гауди [9–12] и его наиболее известных произведениях [13–16]. Объектом настоящего исследования стало одно из них – знаменитая «Каменоломня» (La Pedrera).

Столица Каталонии Барселона (Barcelona) традиционно считается местом зарождения архитектурного стиля *Modernisme*. В этом стиле построено более двух тысяч столичных зданий. Расцвет столицы произошел не на пустом месте. Ему способствовал стремительный рост промышленного производства в Каталонии и в самой Барселоне, в то время как остальная Испания оставалась аграрной страной. В начале XX столетия часть испанского общества кардинально изменила свой стиль жизни и перешла от деревенского уклада к городскому: «Экономический подъем привел к формированию процветающей буржуазии, ставшей заказчиком и спонсором многих художественных и архитектурных проектов...» [15, р. 9].

© Дончук Т.В., Поляков Е.Н., 2016

Коммерсанты и промышленники Барселоны, превратившиеся в элиту каталонского общества, стали возводить уникальные по архитектуре доходные дома на улице Пасео-де-Грасия (Passeig de Gracia), идущей вверх от площади Каталонии, в том числе и Ла Педрера или Дом Мила. На месте этого сооружения в начале XX в. стоял дом, принадлежащий Хосе Антонио Феррера-Видалю. В 1905 г. здание купил Пере Мила-и-Кампс [16, р. 58]. В этом же году Пере женился на богатой вдове Розе Сегимон. Предприимчивые молодожены решили построить себе семейное гнездо в структуре многоэтажного доходного дома. Это позволило бы им достаточно быстро окупить свои затраты. Для этой цели они и приобрели земельный участок 34×56 м (0,2 га). Стоящее здесь старое здание было решено снести, а на его месте построить что-то необычное, затмевающее своей оригинальностью и размерами все прочие творения именитых архитекторов-модернистов, возведенные на этой улице. Для реализации данной идеи был приглашен неординарный зодчий Антонио Гауди, только что успешно завершивший реконструкцию Дома Батльо. Это здание стоит неподалеку от Дома Мила на той же улице.

Задача, которую поставили заказчики перед Гауди, заключалась в следующем. Весь второй этаж (*бельэтаж*) здания предназначался для их проживания. Все верхние этажи планировалось сдавать в наем состоятельным жильцам. В цокольном этаже Пере Мила попросил зодчего вместо традиционной конюшни устроить автомобильный гараж. Автомобили должны были съезжать в гараж из внутреннего двора по пологому пандусу. Остальная площадь нижнего этажа была отведена под угольный склад и так называемый «тепловой узел». В 1928 г. эти помещения были переоборудованы под кафе и магазины.

Антонио Гауди разместил Дом Мила на участке, в 4 раза большем, чем у Дома Батльо. Доходный дом включал служебный и пять жилых этажей. Исполняя пожелание заказчиков, весь бельэтаж зодчий отвел под их роскошную квартиру площадью более 1300 м². Остальные этажи предназначались для квартир семицентров. Следует заметить, что Дом Мила не был гостиницей с отдельными номерами (меблированными комнатами), рассчитанными на кратковременное проживание заезжих клиентов. Обитатели доходных домов Барселоны, как правило, были уроженцами столицы Каталонии и жили здесь многие годы вместе со своими семьями. Подобный тип жилья на рубеже XIX–XX вв. предпочитали те, кто имел свой бизнес либо доходную практику в городе, однако не имел возможности построить собственный дом-особняк.

На первом этаже зодчий расположил входные зоны и вестибюли. На пересечении проспекта Пасео-де-Грасия и улицы Карре-де-Провенса был устроен главный парадный подъезд, развернутый под косым углом. Он образует единую композицию с нависающим главным балконом и двумя колоннами в виде слоновых ног, выступающими на тротуар.

Решетка главных ворот напоминает панцирь черепахи. Пространство внутри металлических ячеек застеклено. Ячейки в верхней части ворот выполнены большего размера, чем в нижней. Это гарантировало свободный доступ света в вестибюль.

Два вестибюля, отличающиеся необычным дизайном, направляют посетителей дома в его жилую часть. В их интерьерах были использованы тесанные каменные колонны с характерными для А. Гауди «органическими» формами. Они плавно «перетекают» в выполненные из гипса и расписанные в пастельных тонах рельефные фигуры, украшавшие потолок. Волнистые линии потолков повторяют и дополняют силуэты фасадов. Потолки вестибюлей и главной лестницы окрашены в теплые нюансные тона. Их украшает цветочный декор и фрески с мифологическими сюжетами из произведений Овидия и П. Кальдерона. Пространства интерьеров чем-то напоминают подводные гроты.

На бельэтаж, где располагалась квартира хозяев, ведут две парадные лестницы. Для подъема на верхние этажи Гауди предусмотрел два лифта – техническое новшество того времени, т.е. зодчий отказался от лестничных маршей, типичных для всех домов в Эшампле. К служебным входам в квартиры выходят три лестницы. Две из них расположены в местах стыковки Дома Мила с соседними зданиями, третья – в геометрическом центре здания.

Следует отметить, что Антонио Гауди разработал довольно рациональную планировку коридоров, жилых и подсобных помещений. Все они группируются вокруг двух больших дворов неправильной формы, служивших световыми колодцами. Эти дворы обеспечили естественное освещение и вентиляцию почти всех внутренних комнат здания. Первый («круглый») двор площадью 90 м² расположен ближе к улице Пасео-де-Грасиа. Он начинается на уровне второго этажа и «пронизывает» здание по всей его высоте до самой кровли. Идеальный «цилиндр» ограждающих стен этого двора нарушает небольшой эркер, включающий лифтовую шахту (рис. 1).



Рис. 1. Световые колодцы Дома Мила (<http://www.planetofhotels.com/blog/wp-content/uploads/Dom-Mila-kry%60sha-Barselona.jpg>)

Второй («овальный») двор-атриум площадью 150 м² устроен со стороны улицы Провенса (рис. 2, 3).

Он также оборудован лифтом и имеет одну интересную особенность. Чем ниже этаж, тем больше размеры его оконных проемов. Этим обеспечено более равномерное освещение верхних и нижних этажей.

Выходящие в *патио* (внутренние дворы) фасады покрыты полихромной росписью с изображениями стилизованных растений. Простенки

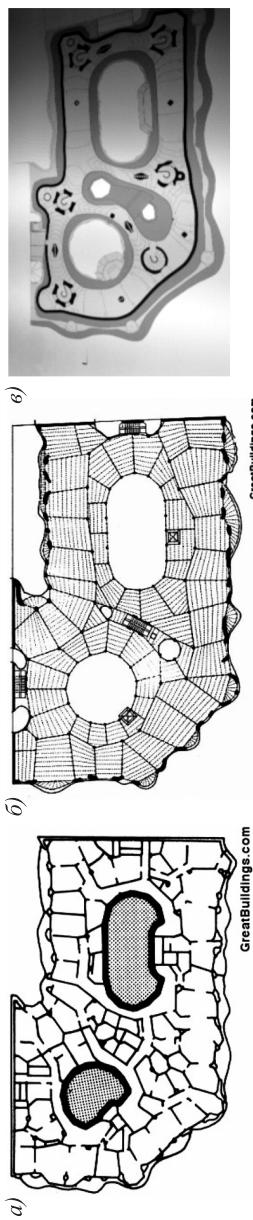


Рис. 2. План Дома Мила и план кровли (<http://www.greatbuildings.com/buildings.html>, фото Т.В. Дончук)

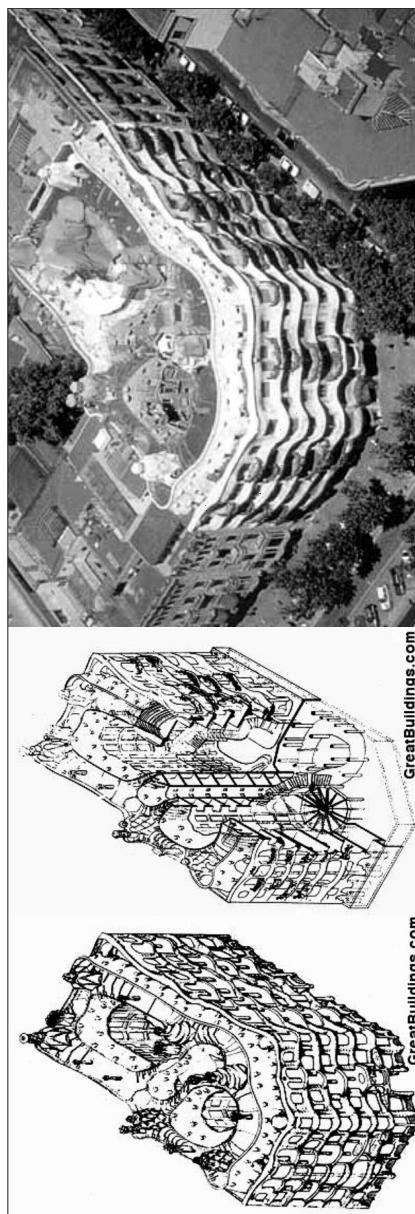


Рис. 3. Аксонометрия (<http://www.greatbuildings.com/buildings.html>)

между окнами украшены цилиндрическими полуколоннами. Нижние этажи стены возведены из камня, верхние – из фигурного кирпича. Это выгодно подчеркнуло высоту и важнейшие вертикали здания (рис. 4).

Чтобы идеально осветить жилые комнаты, архитектор разместил их по периметру здания. Некоторые балконы снабжены стеклянными полами. Этим обеспечивалось оптимальное освещение каждого из жилых помещений. Впрочем, почти все помещения этого удивительного дома имеют хотя бы одно окно. «Дворец, который будет светлее самого света...», – так называл Антонио Гауди свой проект. Все его окна обращены либо на улицу, либо во внутренний двор, даже окна подсобных (хозяйственных) помещений и комнат прислуги. Это позволило осветить эти помещения и обеспечить

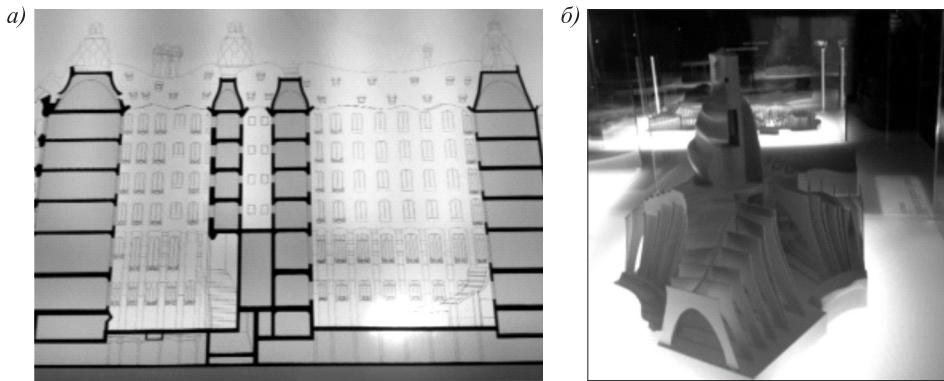


Рис. 4. Разрезы на планшете (а) и макете из Музея (б) Дома Мила, Барселона (фото Т.В. Дончук)

приток в них свежего воздуха. Для того времени это было в новинку. Вдоль всех двориков также были устроены коридоры.

На третьем–шестом этажах дома размещались по три–четыре квартиры площадью от 300 до 500 м². Следует заметить, что главным недостатком многих доходных домов Барселоны являлась далеко не идеальная планировка сдаваемых в наем квартир. При этом постояльцы не имели права что-либо менять в них по своему разумению. Они были вынуждены расставлять свою мебель в помещениях, которые не всегда были предназначены для этого. В Доме Мила архитектор учел пожелание своих заказчиков. Он отказался от массивных несущих стен, чтобы легче было менять планировку комнат. Поэтому многие перегородки в доме были сделаны подвижными. Это позволяло жильцам корректировать пространство комнат по своему усмотрению. Планировка квартир стала более комфортной, соседи не мешали друг другу. Кроме того, А. Гауди разрабатывал для этого дома собственные эскизы орнаментальных деталей, эргономичных дверных и оконных ручек, дверных полотен и покрытий полов. Зодчий одним из первых реализовал принцип свободной планировки внутреннего пространства жилых зданий, опередивший свое время на несколько десятилетий.

Французский зодчий Ш.-Э. Жаннере-Гри был горячим поклонником творчества А. Гауди. В 1928 г. он посетил Барселону и обстоятельно изучил архитектурное наследие гениального каталонца. В результате каркасная структура стала одним из пяти основополагающих принципов «новой» архитектуры, декларированной Ле Корбюзье.

Чтобы получить рациональную функциональную планировку помещений, А. Гауди смело экспериментировал с конструкциями. Желая избавиться от массивных несущих стен, он реализовал в этом здании новаторскую по тем временам каркасную систему из чугунных колонн и балок. Самонесущий каменный фасад этого оригинального здания был связан с его внутренним несущим каркасом с помощью заглубленных (врезанных) в камень чугунных балок: «Из новаций, примененных при строительстве Дома Мила, следует отметить применение металлического каркаса, позволившего освободить стены от необходимости нести тяжесть перекрытий. При этом горизонтальным связям каркасной конструкции была придана форма, соответствующая кривизне стен, заданной проектом. Из-

готовление таких связей на верфях “Марсель” и Барселоне потребовало соблюдения очень высокой точности, требуемой в судостроении...» [8, с. 94–95].

«Гауди не считал необходимым обращаться в данном случае к железобетону как основному строительному материалу, хотя в нем пластические эксперименты мастера технически выполнить было бы намного проще. Архитектор остался верен тем материалам, которые постоянно использовал в своей практике, – кирпичу, камню, металлу...» [8, с. 94].

Необычной была и пространственная структура мансарды, отдаленно напоминающая скелет гигантской рептилии. Каркас ее состоит из 270 цепных арок, сложенных из кирпича. Как и в Доме Батльо, с их помощью сформировалось огромное, хорошо проветриваемое чердачное пространство площадью 800 м². Первоначально здесь размещались кладовые, помещения для стирки и сушки белья. Сочетания различных по высоте арок вторят плавным изгибам фасадов и внутренних двориков. Для поиска оптимальной формы параболических арок А. Гауди использовал различные комбинации подвесных цепей и зеркал, в которых они отражались (рис. 5).

Очертания кровли, уложенной на эти арки, напоминают силуэты песчаных дюн парка Натураль, расположенного в муниципалитете Дельтебре (провинция Таррагона). По крайней мере, так утверждают сотрудники

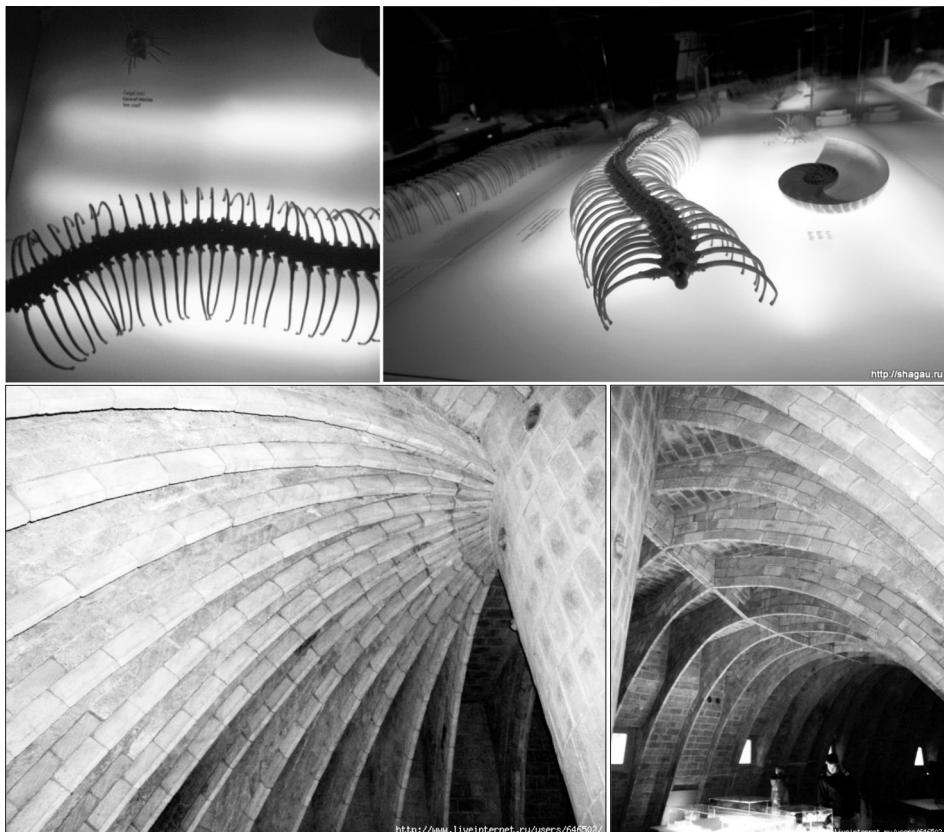


Рис. 5. Кровля мансардного этажа и ее природные аналоги (фото Т.В. Дончук)

Музея А. Гауди в г. Рейсе. Кровля служит естественным терморегулятором. Она защищает здание от перепада температур с помощью двух рядов окон-продухов (по 80 в каждом ряду). Придуманная Гауди система естественной вентиляции даже в наши дни позволяет отказаться от кондиционеров (рис. 6).

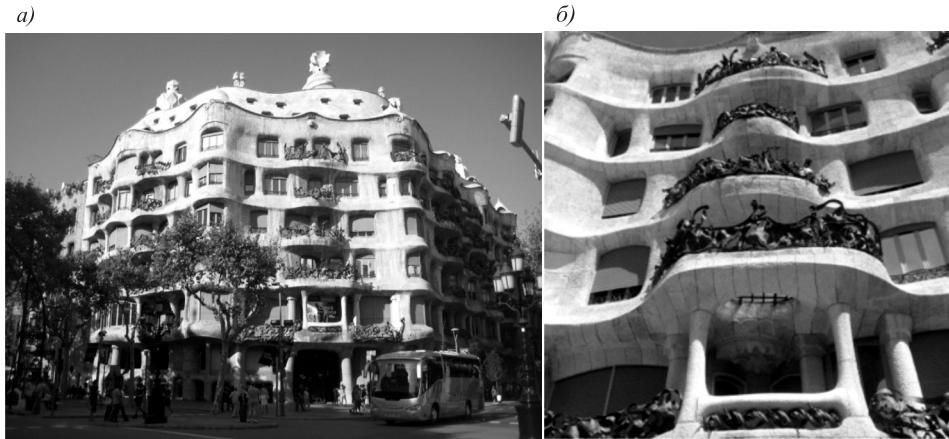


Рис. 6. Фасад «Каменоломни» (а), детали балконов (б) (фото Т.В. Дончук)

Своеобразие фасадов Дома Мила объясняется тем, что многие их элементы были заимствованы у природы. Жители Барселоны неоднозначно оценили это здание, всячески подчеркивая его неуместность в окружающей городской застройке. В дальнейшем его стали именовать «Каменоломней» (La Pedrera), поскольку в облицовке фасадов был использован местный строительный камень, а криволинейные окна и двери здания походили на природные пещеры: «На фотографиях тех лет La Pedrera напоминает пещерные жилища первобытных людей...» [6, р. 1].

Со временем это название утвердилось окончательно: «Это были реакции после разброда, вызванного архитектурой Гауди и проснувшегося общественного мнения, которое было совершенно поражено, обнаружив это здание: никто никогда не видел ничего подобного. Многие интерпретируют Дом Мила как гору, доминирующую над большим облаком; для других формы фасада явно напоминают волны на море. Это, однако, основано на том, что Гауди принимает природу в качестве примера и источника вдохновения. Кроме того, он показывает свое намерение “натурализовать” архитектуру, прием, используемый в парке Гуэль, или “архитектура” природы...» [12, р. 82].

Изначально светлый облицовочный камень со временем покрылся темным налетом. Лишь в конце XX в. фасады здания были тщательно отреставрированы, и оно обрело свой первоначальный облик.

Более короткий и угловой фасады дома выходят на Пасео-де-Грасиа, длинный – на улицу Провенса. Фасады имеют традиционное трехчастное членение по высоте (см. рис. 6). Для их облицовки использованы местные строительные материалы – природный камень и кирпич. Поверхность первого («опорного») этажа выложена крупными блоками известняка, добытого в горном заповеднике Гарраф. Остальные этажи облицованы камнем, при-

везенным из карьера Вильфранш. Горизонтали этажей напоминают морские волны или песчаные дюны. Их длина плавно варьируется по высоте здания. «Волны» имеют более гладкую текстуру и светлую окраску по сравнению с цоколем, некоторые украшены небольшими нишами.

Сложная пластика фасадов здания заставила зодчего применить нестандартные методы монтажа и обработки камней. Для этого была даже привлечена портовая техника, подъемные краны. Гауди лично проверял качество стыков между камнями и кривизну волнистых изгибов поверхности фасадов. Балконы здания были украшены массивными перилами из кованого железа (рис. 7), выполненными по эскизам известного испанского архитектора и дизайнера Жузепа-Марии Жужоль-и-Жибера (1878–1949). Это был видный представитель каталонского модерна, ученик и соавтор многих работ Антонио Гауди.



Рис. 7. Декоративное решение балконов (фото Т.В. Дончук)

Таким образом, перед жителями и гостями Барселоны «предстал внушительный по габаритам шестиэтажный объем, который, вопреки неумолимым законам статики, будто пребывал в непрерывном движении. Иллюзию подвижности здания создают, прежде всего, “волнующиеся” стены, плавно перетекающие через скругленный угол с одного фасада на другой. Кроме того, впечатление неуспокоенности форм поддерживается и меняющимися контурами окон, и всплесками выступов, и игрой светотени и кажущимся колебанием опор в основании сооружения...» [8, с. 94].

Из мансарды по винтовой лестнице можно подняться на террасу и видовые площадки на плоской кровле здания. Здесь посетитель словно попадает в волшебный мир – со всех сторон его окружают витые колонны, конические башенки, облицованные разноцветной мозаикой из гальки, фрагментов мрамора, керамики, стекла, а также целый сад скульптур, причем каждая из малых архитектурных форм выполняет определенную функцию. Волнистые скаты кровли, напоминающие тулowiще гигантского динозавра, вторят ритмам окон и балконов главного фасада. Здесь причудливо чередуются завершения лестничных клеток, лифтовых шахт и вентиляционных каналов.

Архитектором было придумано еще одно техническое новшество – эксплуатируемая кровля с тридцатью дымоходами, напоминающими фигуры средневековых воинов в сфероконических шлемах или морские растения. Многие из этих скульптур облицованы мозаикой *тренкадис*, выполняяющей

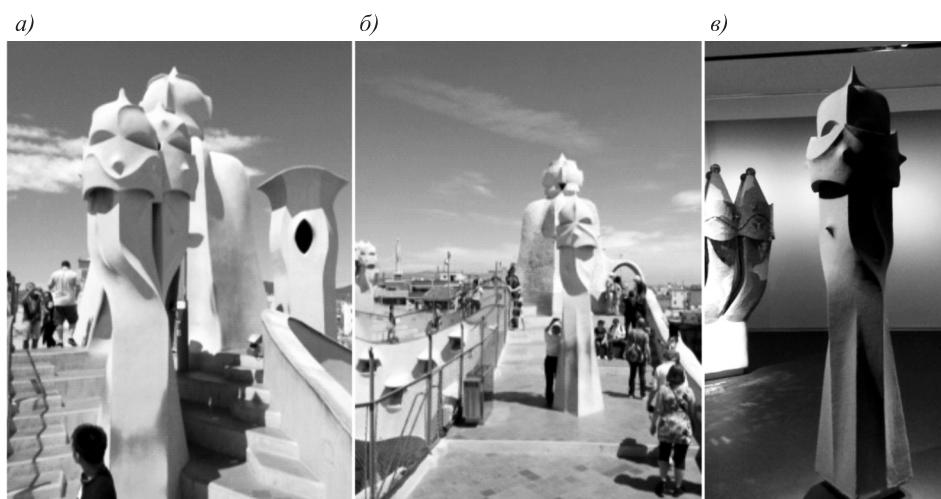


Рис. 8. Дымоходы Дома Мила в Барселоне (а, б), копия дымохода (в) в Музее Гауди в г. Рейсе (фото Т.В. Дончук)

из осколков керамики, гальки, кусочков мрамора и стекла. Это один из самых известных декоративных символов Антонио Гауди (рис. 8).

В 1910 г. этот уникальный проект был завершен. Супруги Мила прожили в нем вплоть до смерти Пере в 1940 г. Вдова, которая была далеко не в восторге от экстравагантного убранства жилых покоя, переделала их по своему вкусу. При этом многие оригинальные элементы интерьерного дизайна, разработанные Антонио Гауди и его помощниками, были безвозвратно потеряны. В 1946 г. Росе Сегимон продала это здание. В настоящее время Casa Milà находится в собственности банка Caixa de Catalunya и местной Fundació Catalunya-La Pedrera, которые используют бывшую квартиру семьи Мила под выставочные цели.

В 1984 г. Дом Мила стал первым сооружением XX столетия, включенным в Список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО. На первом этаже здания сейчас размещается кафе, интерьер которого сочетает элементы стиля модерн с традиционными сюжетами старинных каталонских таверн «фондас». В бельэтаже, где прежде размещалась квартира домовладельцев, устроен выставочный зал. Здесь организуются временные экспозиции. Некоторые квартиры продолжают снимать состоятельные жители Барселоны со своими семьями, в остальных же помещениях разместились деловые офисы. В мансарде устроена музейная экспозиция, посвященная жизни и творчеству Антонио Гауди. Творения мастера представлены эскизами и чертежами, макетами и моделями, фотографиями и документальными фильмами. Кроме того, здесь собраны предметы, служившие Гауди источниками вдохновения, – «текtonические» композиции из цепей и зеркал, экзотические фрукты, раковины, скелеты животных. Верхняя терраса предоставлена туристам. С нее открываются великолепные виды на окружающую застройку столицы Каталонии.

В заключение следует отметить, что Антонио Гауди выполнил Дом Мила в лучших традициях «бионической» архитектуры. Это здание напоминает живой организм, который пребывает в состоянии непрерывного

движения и роста (метаболизма). Его планировка легко может быть приспособлена к новым, меняющимся во времени, потребностям его обитателей. Здесь были реализованы такие новшества, как каркасная система, самонесущие стены, гибкая планировка, цепные арки, терморегулируемая кровля, оригинальные дымоходы, встроенный подвальный гараж для автомобилей и лифты. Пластика фасадов меняется в трех измерениях. «Каменоломня» занимает особое место среди доходных домов Барселоны, поскольку оно выполнено в исключительно оригинальной творческой манере А. Гауди, которую он развивал и совершенствовал на протяжении всей своей жизни.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дончук Т.В., Поляков Е.Н. Зарождение стиля Modernisme в архитектуре Каталонии // Вестн. ТГАСУ. 2016. № 1 (54). С. 9–19.
2. Поляков Е.Н., Дончук Т.В. Творческое наследие Жузепа (Хосепа) Пуч-и-Кадафалка (1867–1956) // Вестн. ТГАСУ. 2016. № 2 (55). С. 9–27.
3. Поляков Е.Н., Дончук Т.В. Творческое наследие Луиса (Льюиса) Доменек-и-Монтанера // Вестн. ТГАСУ. 2016. № 3 (56). С. 9–27.
4. Всеобщая история архитектуры (ВИА): в 12 т. Т. 10. Архитектура XIX – начала XX в. / под ред. С.О. Хан-Магомедова и др. М.: Стройиздат, 1972. 591 с. (Гл. XII. Архитектура Испании).
5. Santiago Barjan «Modernism Art Nouveau in Catalonia». Departament d'Innovacio, Universitats i Empresa de Catalunya. Printer: Industria Grafica D.L.: B-54470, 2007. 24 p.
6. Freixa M. Nationalism and architecture of Catalonia Modernisme. Catedràtica d'Història de l'Art, Universitat de Barcelona. 6 p.
7. The Whole of Barcelona: Tourist Guide. Editorial Fisa Escudo de Oro, S.A. 120 p.
8. Лисовский В.Г. Стиль модерн в архитектуре. М.: Белый город, 2013. 479 с.
9. Гилл Дж. Антонио Гауди. М.: Астрель, 2008. 144 с.
10. Калимова Е.В. Принципы декоративно-символического формообразования в творчестве Антонио Гауди. Проблемы генезиса и эволюции: дис. ... канд. искусствоведения. СПб.: Гос. Русский музей, 2011. 252 с.
11. Güell Xavier. Antoni Gaudí. Zürich: Verlag für Architektur Artemis, 1987.
12. Editorial Escudo de Oro. Tout Gaudi. Editorial Escudo de Oro, S.A., Palaudaries, 26-08004 Barcelone (Espagne). P. 82.
13. Надеждин Н.Я. Антонио Гауди. «Воздушные замки Каталонии». М.: Майор Осипенко, 2011. 192 с.
14. Bergós i Massó Joan, Bassegoda i Nonell Joan, Crippa Maria A. Gaudí. Der Mensch und das Werk. Ostfildern: Hatje Cantz Verlag, 2000.
15. Basilica of Sct. Family (Базилика Святого Семейства). Barcelone: DOC DE ARTE EDICIONES, S.L., 2013. 192 p.
16. Gaudi. Editorial Fisa Escudo de Oro, S.A. 64 p.

Дончук Татьяна Владимировна, асп.; E-mail: kapitel-nsk@mail.ru

Томский государственный архитектурно-строительный университет

Поляков Евгений Николаевич, д-р искусствоведения, проф.;

E-mail:polyakov.en@yandex.ru

Томский государственный архитектурно-строительный университет

Donchuk Tat'iana Vladimirovna, Post-graduate Student;

E-mail:kapitel-nsk@mail.ru

Tomsk State University of Architecture and Building, Russia

Polyakov Eugeniy Nikolaevich, DSc, Professor; E-mail: polyakov.en@yandex.ru

Tomsk State University of Architecture and Building, Russia

LA PEDRERA – PROFITABLE HOUSE MILA IN BARCELONA

The article is dedicated to the creative heritage of the outstanding Catalan architect Antonio Gaudi-i-Cornet. In particular, it is considered one of the projects of apartment buildings in Barcelona – the famous «Quarry» (Casa Mila, La Pedrera). Briefly described the history of the emergence of this order, ne-us list the basic requirements of customers to the figurative and functional solution of the building. The features of the planning scheme La Pedrera, certain unusualnym constructive solution of the building frame. Rated architectural design of its «bionic» facades, interiors and decorative details, possible, use plastic bath-building materials here.

K e y w o r d s: Catalonia, Barcelona, Antoni Gaudi, Pere Mila-i-Camps, profitable Casa Mila, general site plan, functional schematic layout at home, his «bionic» facades and decorative elements, constructive framework solution, using construction materials.

REFERENCES

1. Donchuk T.V., Polyakov E.N. Zarozhdenie stilya Modernisme v arkitekturke Katalonii [Modernisme style in Catalonia architecture]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bull. of TSUAB]. 2016. No. 1 (54). Pp. 9–19. (in Russian)
2. Polyakov E.N., Donchuk T.V. Tworcheskoe nasledie Jozepa (Hosepa) Puch-i-Kadafalka (1867–1956) [Creative Legacy of Josep Puig i Cadafalch]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bull. of TSUAB]. 2016. No. 2 (55). Pp. 9–27. (in Russian)
3. Polyakov E.N., Donchuk T.V. Tworcheskoe nasledie Luisa (L'yuisa) Domenek-i-Montanera [Creative Legacy of Lluis Domenech i Montaner]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bull. of TSUAB]. 2016. No. 3 (56). Pp. 9–27. (in Russian)
4. Vseobshchaya istoriya arkitektury [General history of architecture]. Moscow, Stroyizdat, 1972. Vol. 10. 591 p. (in Russian)
5. Santiago Barjan «Modernism Art Nouveau in Catalonia». Departament d'Innovacio, Universitats i Empresa de Catalunya. Printer, Industria Grafica D.L.: B-54470, 2007. 24 p.
6. Freixa M. Nationalism and architecture of Catalonia Modernisme. Catedràtica d'Història de l'Art, Universitat de Barcelona. 6 p.
7. The Whole of Barcelona: Tourist Guide. Editorial Fisa Escudo de Oro, S.A. 120 p.
8. Lisoovskiy V.G. Stil' modern v arkitekture [The Modern style in architecture]. Moscow, 2013. 479 p. (in Russian)
9. Gill John. Antonio Gaudi. Moscow, 2008. 144 p. (in Russian)
10. Kalimova E.V. Printsipy dekorativno-simvolicheskogo formoobrazovaniya v tvorchestve Antonio Gaudi. Problemy genezisa i evolyutsii: dis. ... kand. iskusstvovedeniya [Principles of decorative and symbolic in shaping the work of Antonio Gaudi. Problems of Genesis and evolution: Dis. for obtaining the academic degree «Candidate iskusstvove-Denia»]. Saint-Petersburg, 2011. 252 p.
11. Güell Xavier. Antoni Gaudí. Zürich: Verlag für Architektur Artemis, 1987.

12. Editorial Escudo de Oro. Tout Gaudi. Editorial Escudo de Oro, S.A., Palauardaries, 26-08004 Barcelone (Espagne). P. 82.
 13. Nadezhda N.Ya. Antonio Gaudi. «Vozdushnye zamki Katalonii» [Antonio Gaudi. «Air castles of Catalonia»]. Moscow, 2011. 192 p. (in Russian)
 14. Bergós i Massó Joan, Bassategoda i Nonell Joan, Crippa Maria A. Gaudí. Der Mensch und das Werk. Ostfildern, Hatje Cantz Verlag, 2000.
 15. Basilica of Sct. Family. Barcelona, DOC DE ARTE EDICIONES, S.L., 2013. 192 p.
 16. Gaudi. Editorial Fisa Escudo de Oro, S.A. 64 p.
-

УДК 725.38

Н.А. АНУФРИЕВА

РЕГИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ИНФРАСТРУКТУРНОГО РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ГРАНИЦЕ РФ

В статье рассматриваются региональные особенности функционально-планировочного формирования комплексных предприятий на базе автомобильных пунктов пропуска (АПП) с учетом перспективного развития. Выявлены переходные модели инфраструктурного развития комплексных предприятий, представлены основные схемы функционально-планировочной организации, работающие в регионах. Моделирование инфраструктуры комплексных предприятий выполняется с учетом их размещения относительно населенного пункта. Выделены общие для страны и каждого региона направления развития в области проектирования и строительства инфраструктуры подобного рода объектов. Определено взаимное влияние пропускной способности основного объекта АПП на уровень инфраструктурного развития и состав комплексного предприятия.

Ключевые слова: комплексные предприятия, модели инфраструктурного развития, функционально-планировочное формирование, концепция инфраструктурного развития, приграничные автомобильные посты.

Комплексные предприятия на базе транспортных узлов в приграничной зоне РФ, или приграничные автомобильные посты (ПАП), представляют собой объекты, расположенные по границе РФ в местах пересечения автомобильным транспортом. В состав комплекса входят основное предприятие по пропуску автомобилей через границу РФ – автомобильный пункт пропуска (АПП), предприятия или комплексы придорожного сервиса (КПС) и таможенно-логистические терминалы (ТЛТ), а при необходимости зоны для временного или постоянного проживания. Инфраструктурная организация комплексного предприятия на базе транспортного узла в приграничной зоне РФ включает в себя объекты основного и вспомогательного назначения. Согласно Концепции таможенного оформления и таможенного контроля товаров в местах, приближенных к государственной границе Российской Федерации, основное внимание направлено на модернизацию и развитие объектов приграничной инфраструктуры¹. В настоящее время большое значение придается обустройству государственной границы РФ, развитию инфраструктуры при АПП.

Таможенная Концепция предусматривает создание сети таможенно-логистических комплексов в непосредственной близости от многосторонних автомобильных пунктов пропуска (МАПП). Концепцией определены основные приоритетные мероприятия перевода таможенного оформления в при-

¹ Карта автомобильных пунктов пропуска [официальный сайт Федерального агентства по обустройству государственной границы Российской Федерации]. URL: <http://www.rosgranitsa.ru> (дата обращения: 10.10.2016).

границы субъекты Российской Федерации на перспективу до 2020 г. Новая таможенная Концепция имеет взаимосвязь с Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации, Концепцией внешней политики Российской Федерации, Внешнеэкономической стратегией России до 2020 г., Транспортной стратегией Российской Федерации до 2030 г. [1]. Увеличение транспортных перевозок по международным транспортным коридорам «Запад–Восток» и «Север–Юг» указывает на необходимость развития инфраструктуры приграничных автомобильных постов. Государственные программы определяют общие особенности развития приграничных автомобильных постов [1].

К особенностям ПАП также относится функционально-планировочная организация. Ранее предложенная Концепция инфраструктурного развития ПАП рассматривает комплексное решение вопросов интенсивного развития:

- приграничных автомобильных постов на базе существующих многосторонних автомобильных пунктов пропуска;
- прилегающей территории с учетом оптимизации ее использования;
- инфраструктуры, обеспечивающей необходимый уровень организации приграничного автомобильного поста, с учетом дальнейшего увеличения пассажиро- и грузопотока через ПАП [2].

Концепция инфраструктурного развития отражает структуру формирования предприятия, компоновку объектов относительно МАПП. В ее основе лежит уровень организации ПАП. В процессе анализа планировочной организации существующих и находящихся в проектировании предприятий, в зависимости от состава приграничного поста, были выявлены четыре уровня организации: I – Рядовой, II – Сервисный, III – Таможенно-логистический и IV – Производственно-торговый [2] (рис. 1).

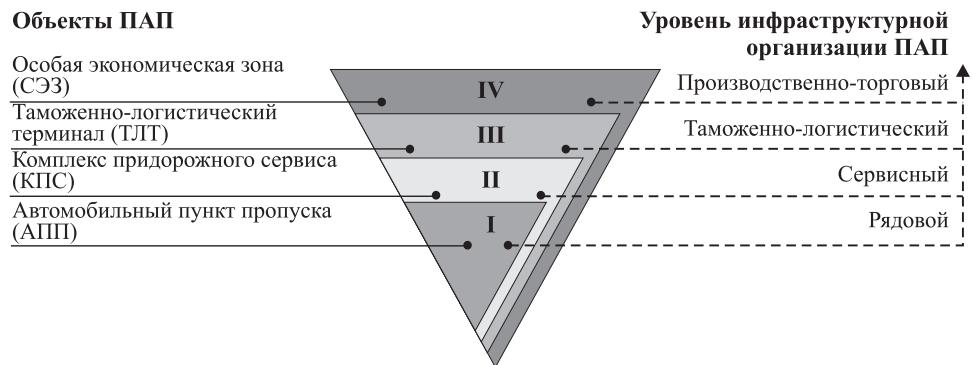


Рис. 1. Уровни организации ПАП

В архитектурно-планировочной организации ПАП относительно городского пространства были выявлены три модели размещения:

- интегрированного – в городском пространстве;
- периферийного – за пределами городского пространства, на окраине населенного пункта или в непосредственной близости от него;
- автономного – на независимой территории, удаленной от населенных пунктов [2].

Формирование инфраструктуры приграничных автомобильных постов каждого региона РФ обусловлено его социально-экономическим развитием с учетом социально-экономического положения приграничной страны и степенью востребованности предприятий обслуживания. Инфраструктуру комплексных предприятий на базе существующих АПП возможно спрогнозировать при помощи перспективных (переходных) функционально-планировочных моделей или моделей инфраструктурного развития с учетом размещения объекта относительно населенного пункта. Комбинируя в модели ситуации развития и размещения, можно дать более точное объяснение направлению создания инфраструктуры поста. Изучение ситуаций на каждом из постов позволило выстроить схемы функционально-планировочных решений ПАП и обозначить переходные модели инфраструктурного развития для каждого региона в отдельности.

Северо-Западный ФО. Общее количество пунктов пропуска – 27 (1–27 (рис. 2)). В настоящее время здесь находятся комплексные предприятия I–IV уровней организации. Инфраструктурное развитие транспортного узла представлено тремя типами размещения (интегрированный – 2, периферийный – 7 и автономный – 18). Развитие *интегрированной модели* предполагает создание МАПП-дублера, вывод транзита транспортных средств с территории города и организацию туристического кластера. Особую роль в развитии инфраструктуры таких постов, как ПАП «Ивангород» и «Советск», будет играть создание туристической среды с организацией рекреационного пространства, включающего в себя: историческую застройку и благоустройство города (парки, скверы, парковки и т.д), зоны отдыха и обслуживания (сервиса) для туристов, в том числе автомобильных, природные рекреационные зоны и т.д. [3]. Важным моментом является комплексный подход, основанный на развитии архитектурно-пространственной среды туристической деятельности: автомобильный туризм и экскурсионные туры по исторической застройке, достопримечательностям, музеям с возможностью рекреационного отдыха и т.д. [3] (рис. 3).

Инфраструктурное развитие *периферийной модели* предполагает создание зон ТЛТ и КПС в непосредственной близости от МАПП или значительное развитие зоны КПС. Формирование *автономной модели* размещения комплексного предприятия в Северо-Западном ФО происходит также за счет пропорционального развития дополнительных объектов ПАП. Основными можно считать уровни организации Таможенно-логистический и Сервисный, но с учетом развития жилой зоны. В процессе инфраструктурного развития территорий ПАП произойдет повышение уровня организации постов, преобладающее количество составят посты II и III уровня организации (см. рис. 6).

Центральный ФО. Общее количество постов – 17 (28–44 (см. рис. 2)). Здесь находятся посты I–III уровня организации. Инфраструктурное развитие ПАП представлено в двух типах размещения (периферийный – 10 и автономный – 7). Развитие *периферийной модели* предполагает создание в непосредственной близости от МАПП зоны КПС, т.е. преобразование в Сервисный уровень организации. *Автономная модель* разме-



Рис. 2. Карта размещения комплексных предприятий по границе РФ 1–101–ПАП. А–И – федеральные округа: А – Северо-Западный; Б – Центральный; В – Южный; Г – Северо-Кавказский; Д – Приволжский; Е – Уральский; Ж – Сибирский; И – Дальневосточный

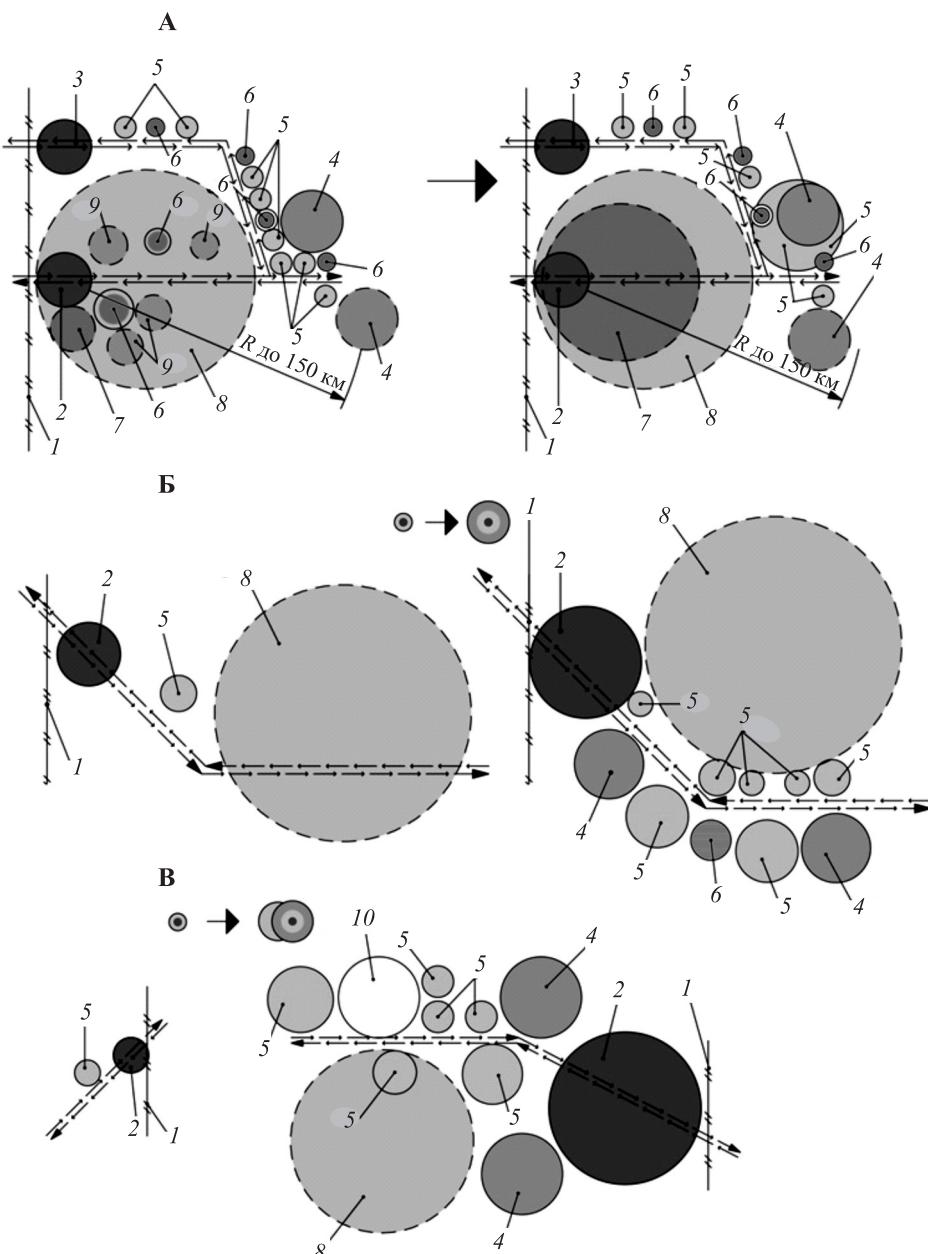


Рис. 3. Модели инфраструктурного развития комплексных предприятий на базе АПП в Северо-Западном ФО

А–В – модели размещения ПАП: А – интегрированного; Б – периферийного; В – автономного
 1 – граница РФ; 2 – АПП; 3 – АПП-дублер; 4 – ТЛТ; 5 – КПС; 6 – рекреационные зоны; 7 – историко-культурная зона; 8 – населенный пункт; 9 – достопримечательности города; 10 – демпферная площадка; 11 – особая экономическая зона (СЭЗ)

щения в рамках инфраструктурного развития останется на прежней ступени, так как уже имеет Таможенно-логистический уровень организации (рис. 4).

Южный ФО. Общее количество пунктов пропуска – 12 (45–53, 59–61 (см. рис. 2)). В настоящее время здесь находятся посты I–III уровня организа-

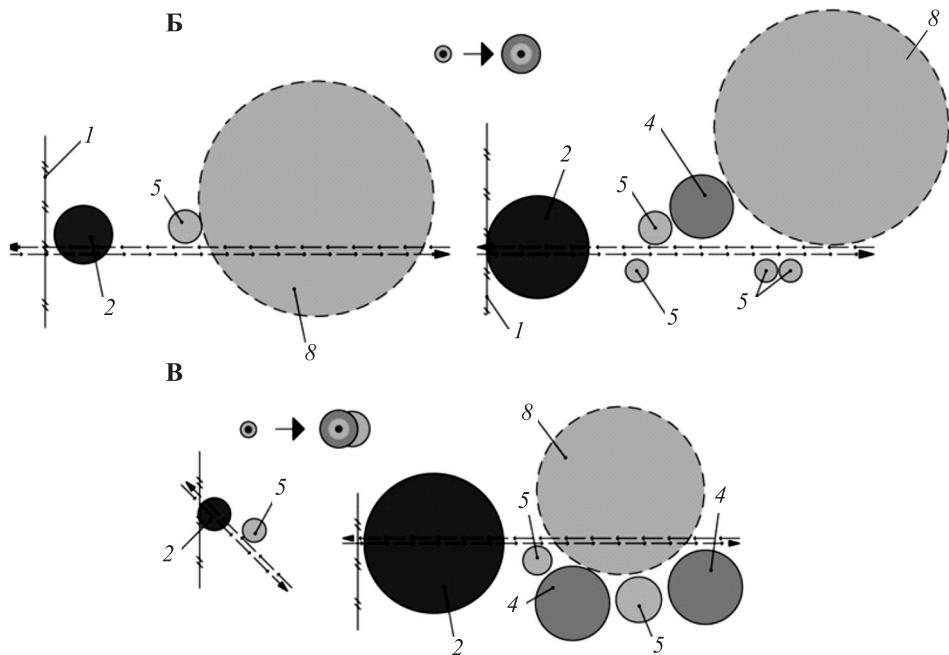


Рис. 4. Модели инфраструктурного развития комплексных предприятий на базе АПП в Центральном ФО. Усл. обозначения см. на рис. 3

ции. Инфраструктурное развитие ПАП представлено в трех моделях размещения (интегрированный – 1, периферийный – 10 и автономный – 1). Развитие *интегрированной модели* предполагает организацию туристического кластера, а *периферийной модели* – поднятие всех комплексных предприятий до уровня организации Сервисный (рис. 5).

Северо-Кавказский ФО. Общее количество пунктов пропуска – 5 (54–58 (см. рис. 2)). В настоящее время здесь находятся посты I, II уровня организации. Инфраструктурное развитие ПАП представлено в двух типах размещения (периферийный – 2 и автономный – 3). Инфраструктурное развитие коснется только *периферийной модели* размещения, предполагается создание в непосредственной близости от АПП зон КПС и ТЛТ, что существенным образом поднимет уровень оснащенности постов. В регионе появится Таможенно-логистический уровень организации ПАП (рис. 6).

Приволжский ФО. Общее количество пунктов пропуска – 5 (62–66 (см. рис. 2)). Здесь находятся посты только I уровня организации. Инфраструктурное развитие ПАП представлено двумя типами размещения (периферийный – 1 и автономный – 4). Предполагается незначительное инфраструктурное развитие *автономной* и *периферийной* моделей размещения до уровня Сервисный (рис. 7).

Уральский ФО. Общее количество пунктов пропуска – 7 (67–73 (см. рис. 2)). В настоящее время здесь находятся посты I и III уровня организации. Инфраструктурное развитие ПАП представлено в двух типах размещения (периферийный – 4 и автономный – 3). Предполагается незначительное инфраструктурное развитие *автономной* и *периферийной*

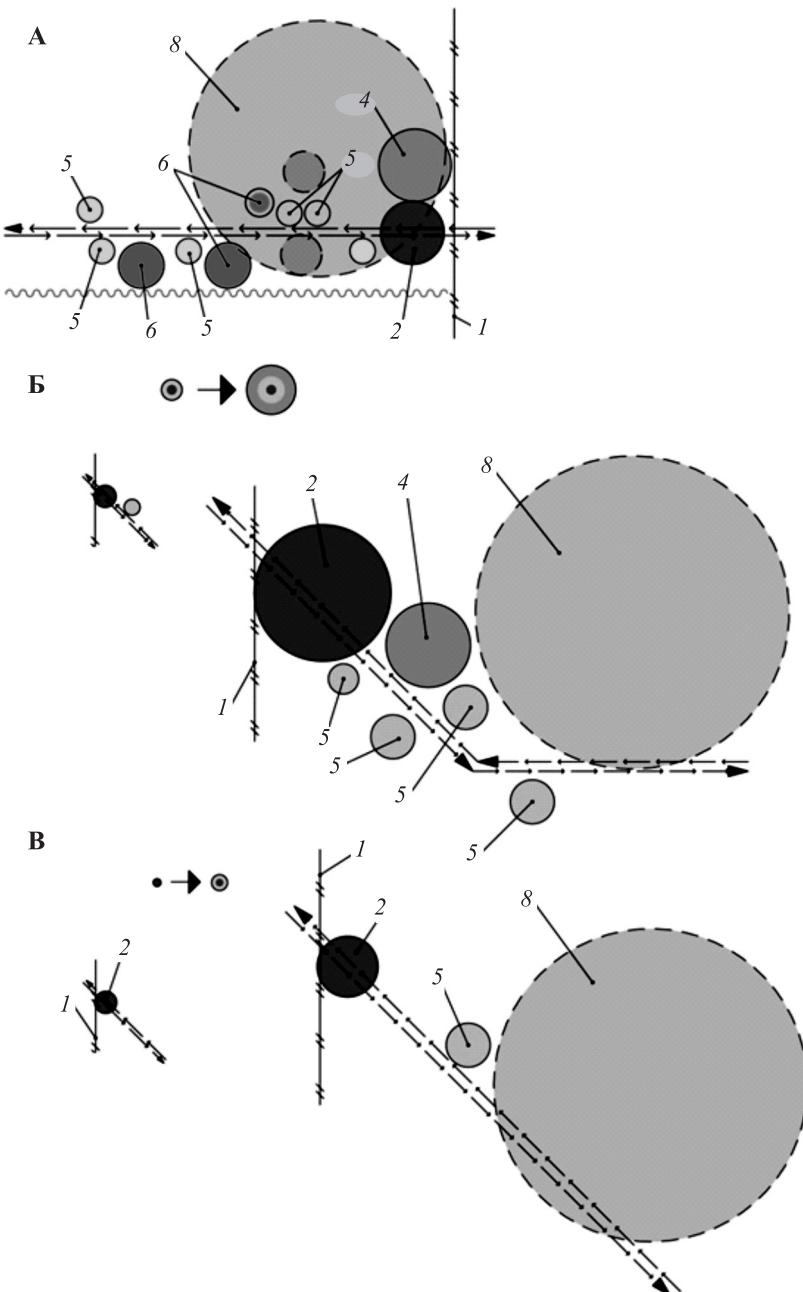


Рис. 5. Модели инфраструктурного развития комплексных предприятий на базе АПП в Центральном ФО. Усл. обозначения см. на рис. 3

моделей до уровня организации Сервисный и Таможенно-логистический (рис. 8).

Сибирский ФО. Общее количество пунктов пропуска – 23 (74–96 (см. рис. 2)). Здесь находятся посты I–III уровня организации. Инфраструктурное развитие ПАП представлено в двух типах размещения (периферийный – 11 и автономный – 12). Развитие *периферийной модели* предполагает

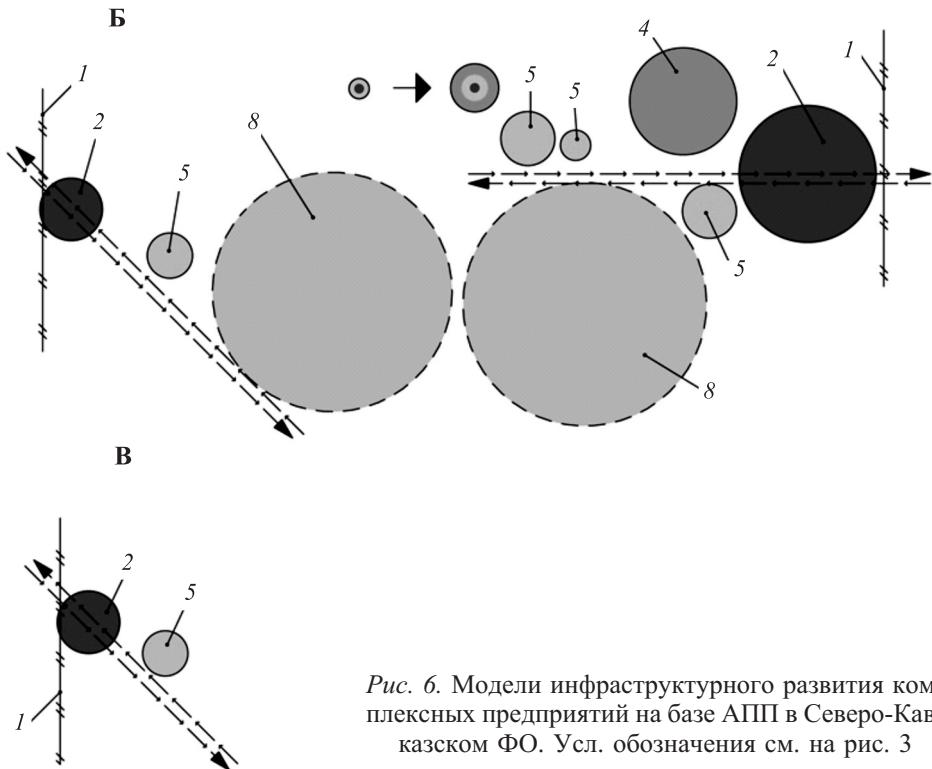


Рис. 6. Модели инфраструктурного развития комплексных предприятий на базе АПП в Северо-Кавказском ФО. Усл. обозначения см. на рис. 3

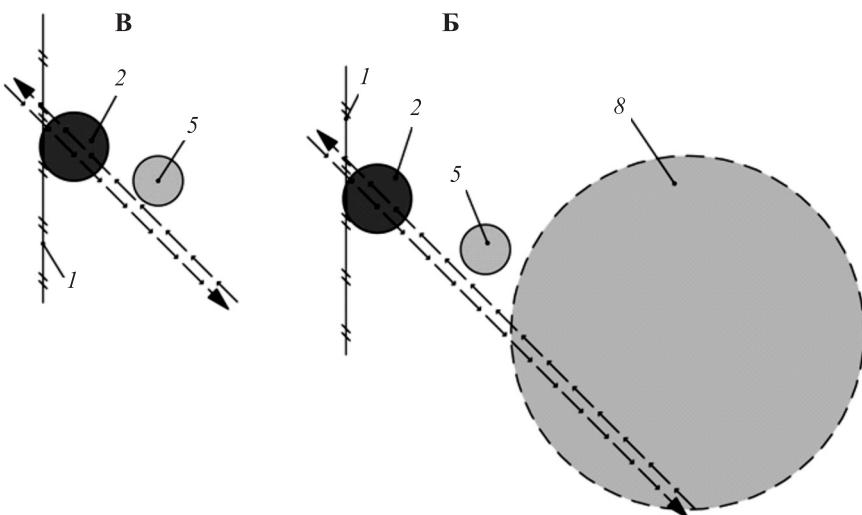


Рис. 7. Модели инфраструктурного развития комплексных предприятий на базе АПП в Приволжском ФО. Усл. обозначения см. на рис. 3

создание в непосредственной близости от АПП зоны СЭЗ. Таким образом, появится пост с IV уровнем организации (ПАП «Забайкальск»). Формирование *автономной модели* происходит также за счет пропорционального развития объектов ПАП от II до IV уровня организации (ПАП «Ташанта») (рис. 9).

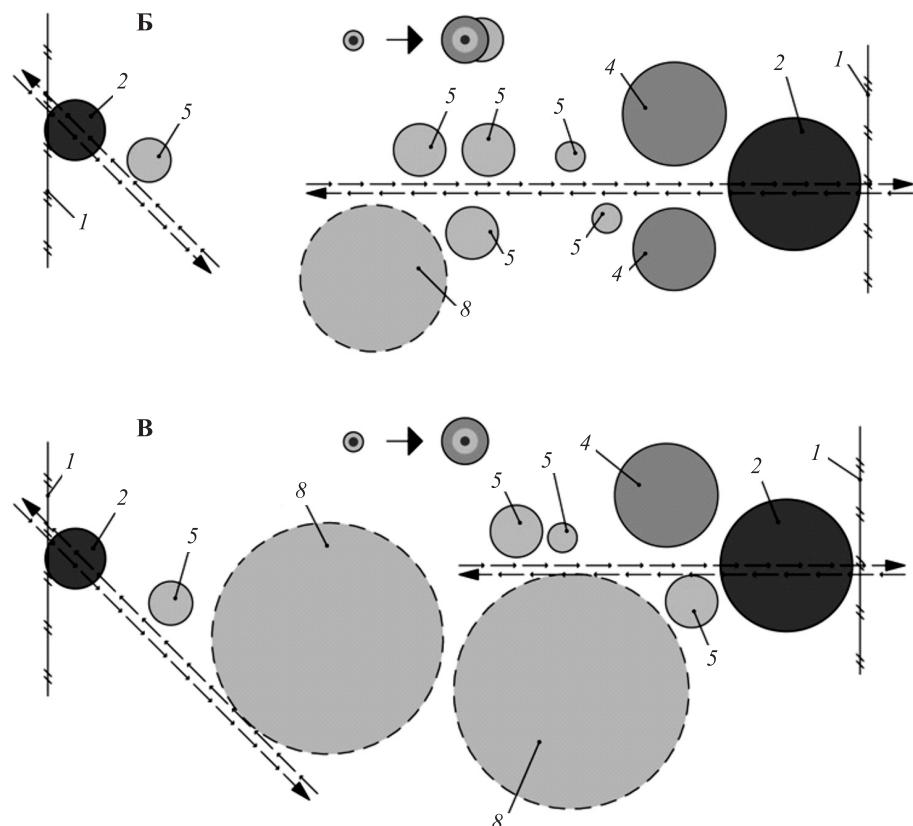


Рис. 8. Модели инфраструктурного развития комплексных предприятий на базе АПП в Уральском ФО. Усл. обозначения см. на рис. 3

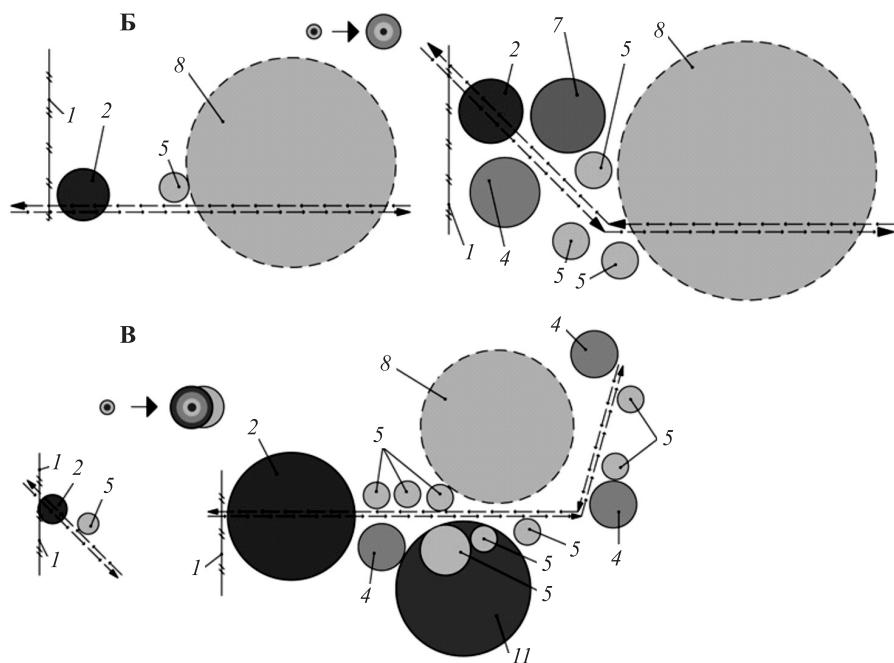


Рис. 9. Модели инфраструктурного развития комплексных предприятий на базе АПП в Сибирском ФО. Усл. обозначения см. на рис. 3

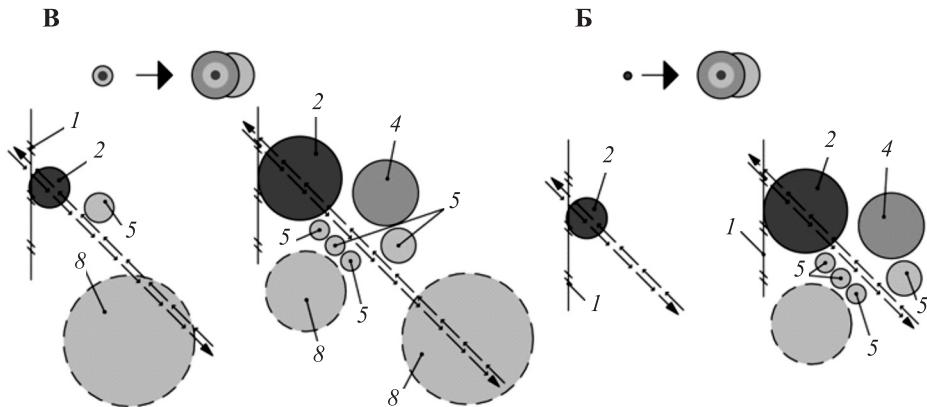


Рис. 10. Модели инфраструктурного развития комплексных предприятий на базе АПП в Дальневосточном ФО. Усл. обозначения см. на рис. 3

Дальневосточный ФО. Общее количество пунктов пропуска – 5 (97–101 (см. рис. 2)). В настоящее время здесь находятся посты I и III уровня организации. Инфраструктурное развитие ПАП представлено в двух типах размещения (периферийный – 4 и автономный – 1). Предполагается незначительное развитие *автономной* и *периферийной* моделей только до уровня организации Сервисный и Таможенно-логистический (рис. 10).

Наиболее перспективными, с точки зрения инфраструктурного развития, являются крупные и крупнейшие ПАП, пропускной способностью более 1000 автомобилей в сутки. При них, благодаря высокому пассажиро- и грузопотоку, требуется создание или значительное расширение зоны КПС, строительство дополнительных ТЛТ, организация особых экономических зон. На средних и малых постах, пропускной способностью до 500 автомобилей в сутки, необходимо развитие зоны КПС.

Повышение уровня инфраструктурного развития комплексного предприятия на базе транспортного узла в приграничной зоне РФ будет способствовать росту его пропускной способности и в целом развитию приграничных областей регионов РФ (рис. 11, 12). Чем выше пропускная способность АПП, тем вероятность формирования комплексного предприятия в зоне транспортного узла наиболее перспективна. Масштаб предприятий определяется также пропускной способностью транспортного узла и социально-экономическими предпосылками. Наиболее перспективными, в плане инфраструктурного развития, можно считать Северо-Западный и Сибирский ФО, здесь существуют предпосылки к формированию особых экономических зон в зонах, приближенных к приграничным автомобильным транспортным узлам.

Анализ направлений в инфраструктурном формировании транспортных узлов на базе автомобильных пунктов пропуска выявил наиболее благоприятные для каждого региона пути развития. Предприятия, расположенные в разных регионах РФ, уже развиваются в своем особом направлении, несмотря на схожие модели размещения постов по стране и пропускную способность. В целом наблюдается положительная динамика в сторону инфраструктурного развития и функционального насыщения постов.

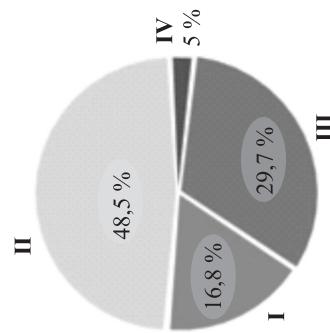
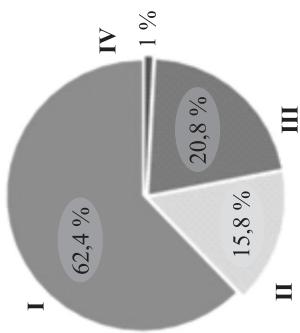
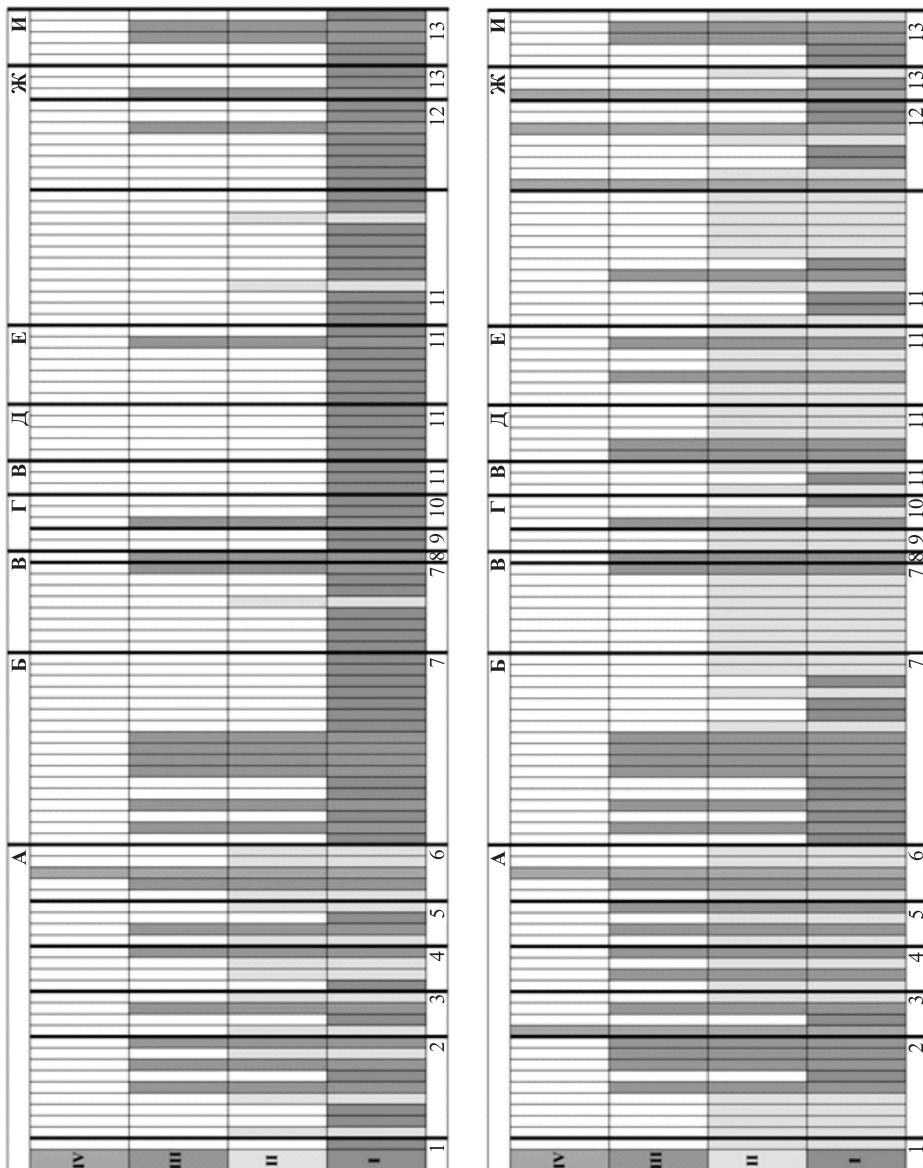


Рис. 11. Инфраструктурная организация ПАП по границе РФ

А–И – федеральные округа: А – Северо-Западный; Б – Центральный; В – Южный; Г – Северо-Кавказский; Д – Приволжский; Е – Уральский; Ж – Сибирский; И – Дальневосточный
Уровни организации: I – Рядовой; II – Сервисный; III – Таможенно-логистический; IV – Производственно-торговый

1 – Норвегия; 2 – Финляндия; 3 – Эстония; 4 – Латвия; 5 – Литва; 6 – Польша; 7 – Украина;
8 – Абхазия; 9 – Грузия; 10 – Азербайджан; 11 – Казахстан; 12 – Монголия; 13 – Китай

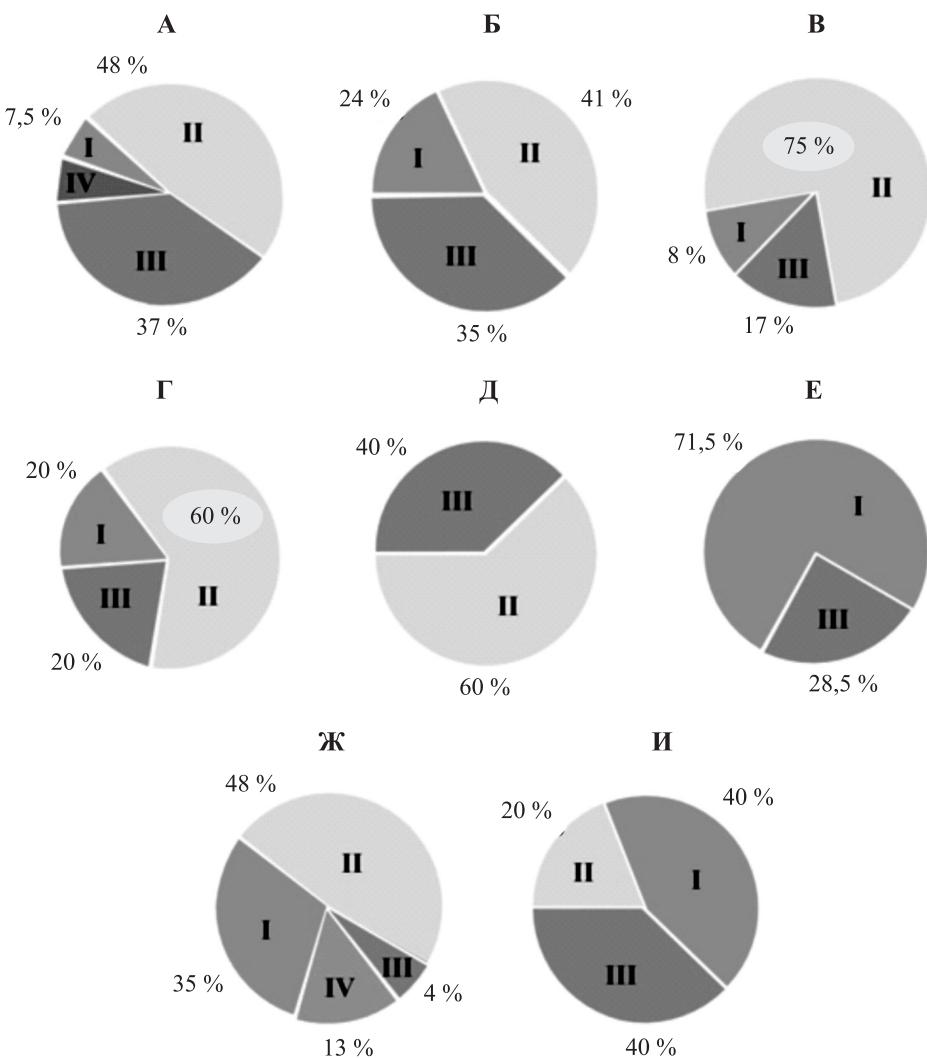


Рис. 12. Региональные особенности формирования инфраструктурной организации комплексных предприятий на базе АПП с учетом перспективного развития

Усл. обозначения см. на рис. 11

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А н у ф р и е в а Н.А. Структура формирования архитектурно-планировочной организации приграничных автомобильных постов // Архитектон: изв. вузов. 2013. № 4 (44). URL: http://archvuz.ru/2013_4/4
2. А н у ф р и е в а Н.А. Особенности архитектурно-планировочной организации приграничных автомобильных постов // Архитектон: изв. вузов. 2014. № 3(47). URL: http://archvuz.ru/2014_3/8
3. А н у ф р и е в а Н.А., Лихачев Е.Н. Особенности развития интегрированной модели размещения приграничных автомобильных постов // Современные проблемы истории и теории архитектуры: докл. науч.-практ. конф.; СПбГАСУ. СПб., 2015. 188 с.

Ануфриева Надежда Анисимовна, ст. препод.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено после доработки 14.09.16

Anufrieva Nadezhda Anisimovna, Senior Lecturer

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

INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT OF THE COMPLEX ENTITIES ON FRONTIER OF THE RUSSIAN FEDERATION

In article regional features of functional and planning forming of the complex entities based on automobile check points (ACP) taking into account perspective development are considered. Transitional models of infrastructure development of the complex entities are revealed, the main schemes of the functional and planning organization working in regions are provided. Modeling of infrastructure of the complex entities is carried out taking into account their placement concerning the settlement. General are allocated for the country and each region of the direction of development in the field of designing and a construction of infrastructure of this sort of objects. Mutual influence of handling capacity of the main object of ACP on the level of infrastructure development and structure of the complex entity is designated.

К e y w o r d s: complex entities, models of infrastructure development, functional and planning forming, concept of infrastructure development, frontier automobile posts.

REFERENCES

1. A n u f r i e v a N.A. Struktura formirovaniya arkhitekturno-planirovochnoy organizatsii prigranichnykh avtomobil'nykh postov [Structure of formation of the architectural and planning organization of frontier automobile posts]. Arhitekton: izvestiya vuzov. 2013. No. 4 (44). URL: http://archvuz.ru/2013_4/4 (in Russian)
2. A n u f r i e v a N.A. Osobennosti arkhitekturno-planirovochnoy organizatsii prigranichnykh avtomobil'nykh postov [Features of the architectural and planning organization of frontier automobile posts]. Arhitekton: izvestiya vuzov. 2014. No. 3(47). URL: http://archvuz.ru/2014_3/8 (in Russian)
3. A n u f r i e v a N.A., L i h a c h e v E.N. Osobennosti razvitiya integrirovannoy modeli razmeshcheniya prigranichnykh avtomobil'nykh postov [Features of development of the integrated model of seating of frontier automobile posts]. Sovremennye problemy istorii i teorii arkhitektury: doklady nauchno-prakticheskoy konferentsii. Saint-Petersburg, 2015. 188 p. (in Russian)

УДК 7.12.7

О.О. СМОЛИНА

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ АРБОРСКУЛЬПТУРЫ

В статье освещена впервые разработанная методология информационного моделирования объектов арборскульптуры (для открытых и закрытых пространств) на основе специализированного программного комплекса «Арборскульптура». Рассмотрены функциональные возможности программного комплекса, его входные и выходные данные, а также проанализированы особенности расчета стоимости и сроков формирования объектов арборскульптуры. Разработанный программный комплекс позволяет создавать цифровые прототипы объектов арборскульптуры в городской среде, а также производить технико-экономический расчет формирования бионических объектов.

Ключевые слова: арборскульптура, методология, информационное моделирование, программный комплекс «Арборскульптура».

Актуальность объектов арборскульптуры¹ в городской среде – неоспорима, благодаря, во-первых, их естественной эстетичности, визуальной оппозиционности, во-вторых, возможности функционального насыщения урбанизированной среды бионическими объектами. Так, со времени развития искусство арборскульптуры претерпело ряд принципиальных преобразований, начиная с садово-парковой скульптуры без практического использования до объектов малых архитектурных форм и городских сооружений, имеющих региональное значение.

Однако, несмотря на актуальность объектов арборскульптуры, их использование эпизодическое, чаще всего локального уровня, и не многочисленное – не более двухсот объектов арборскульптуры по всему миру. Следует отметить, что наибольший вклад в развитие искусства арборскульптуры внесли ученые, арборскульпторы из США – Dan Ladd (Дэн Лэдд), Richard Reames (Ричард Римс), Laird Funk (Лэрд Фанк), John Krubsack (Джон Крабсак), Axel Erlandson (Аксель Эрландсон); из Германии – Konstantin Kirsch (Константин Кирш), Hermann Block (Герман Блок) [1], Marcel Kalberer (Марсель Калбара), Arthur Wiechula (Артур Вихула); из Таиланда – Nirandr Boonnetr (Нирандр Бюнетр); из Израиля – Aharon Naveh (Аарон Наве), Ezekiel Golan (Иезекииль Голан) [2]; из Австралии – Peter Cook и Becky Northeу (Питер Кук и Бекки Нортей) [3]; из Англии – Dr. Christopher Cattle (Кристофер Кател), Richard и Suzanne Kerwood (Ричард и Сюзан Кервед); из Китая – Mr. Wu (г-н Ву); из Бельгии – Christoph и Myriam de Cock (Кристоф и Мириам де Кок); из Испании – Michel Bussein (Мишель Босейн) и мн. др.

¹ Термин введен Richard Reames (Ричардом Римсом) в книге «Arborscupture Solutions for a Small Planet» («Арборскульптура – решение для маленькой планеты», 2005).

Арборескульптура

Общее Инверер Экстерьер

Название растения	Изображение	Описание	Цена[руб.]
бакарная огоньтая		Влажность - повышенная. Освещенность - 50%. Почва - суглинок. Высота(высажены) - 1.5м. Цветок в ширину - 60см.	1500
бутгенимпия голза		Влажность - повышенная. Освещенность - 100%. Почва - супесь. Высота(высажены) - 1м. Цветок в ширину - 1м.	950
бутгенимпия занечательная		Влажность - повышенная. Освещенность - 100%. Почва - супесь. Высота(высажены) - 1м. Цветок в ширину - 1м.	950
дракона деремская		Влажность - средняя. Освещенность - 50%. Почва - супесь. Высота(высажены) - 3м. Цветок в ширину - 70см.	400

Изображение

Функциональный дизайн
Скульптура

Показать все

Далее

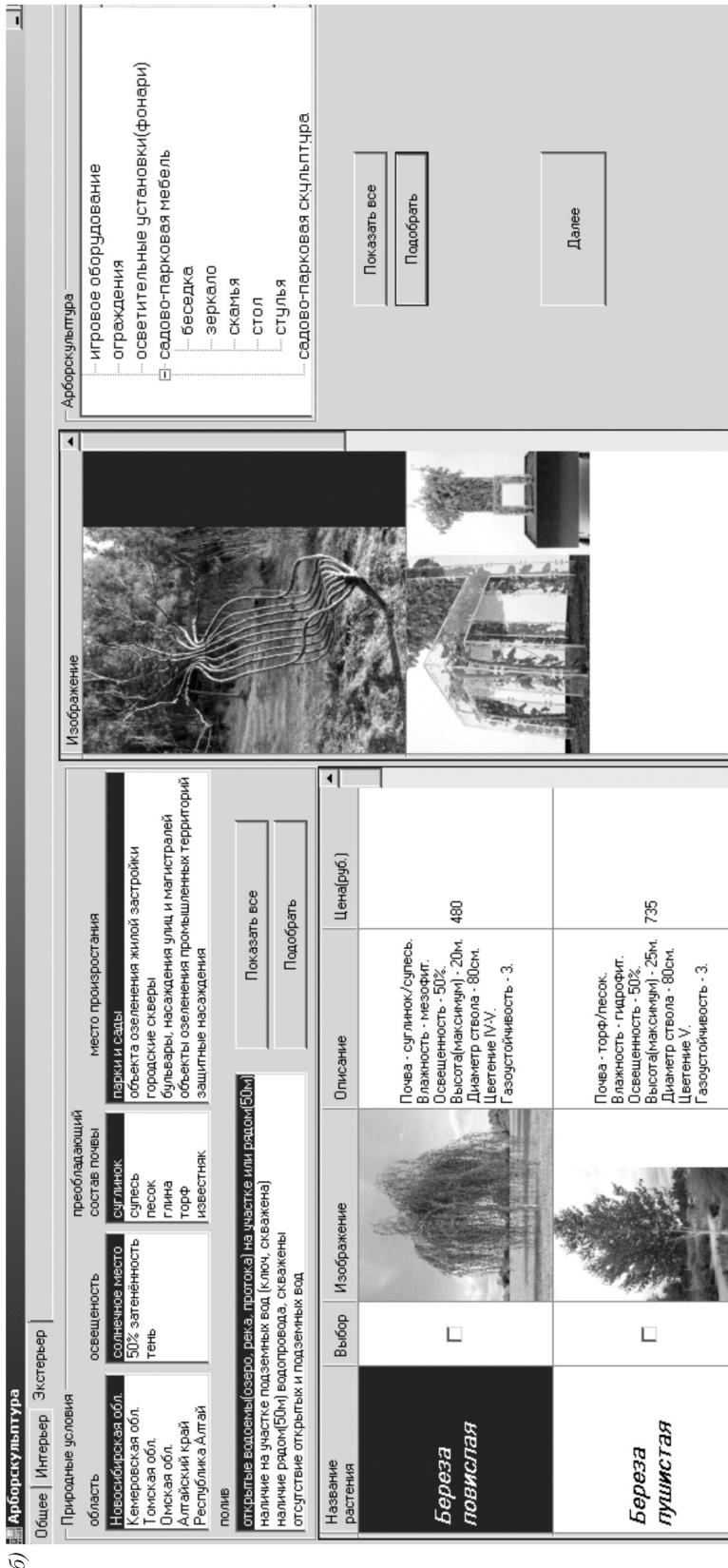


Рис. 1. Входные данные в программном комплексе: «Арбoretум» – расширенный ассортимент растений»

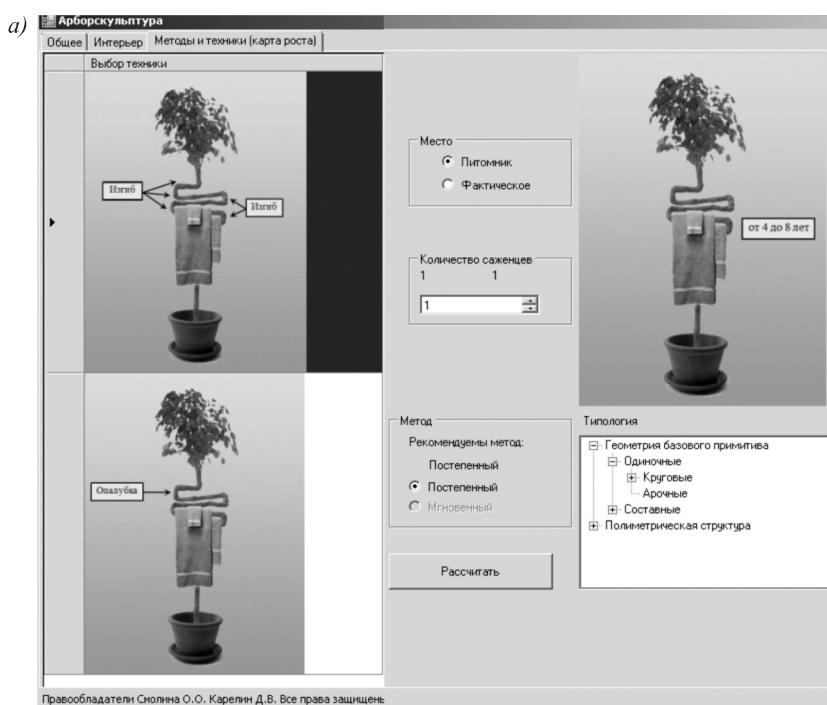
a – формирование в интерьерах; *b* – в экстерьерах

Научная проблема крайне редкого использования объектов арборскульптуры в городской среде заключается в недостаточной изученности особенностей формирования бионических объектов в различных климатических зонах, а также отсутствии исследований, посвященных расчету технико-экономической составляющей, и конечно, продолжительное время их создания (от 10 до 40 лет).

В связи с возникшей проблемой, ставилась цель разработать методологию информационного моделирования объектов арборскульптуры на основе специализированного программного комплекса, позволяющего создавать цифровые прототипы объектов арборскульптуры в городской среде и рассчитывать стоимостные показатели бионических объектов и сроков их формирования.

В задачи исследования при разработке программного комплекса входили учет зависимости данных инженерных изысканий места фактического формирования, определение экологического паспорта элементов озеленения, включающего особенности формирования типов растений по категориям, и учет влияния типологии форм объектов арборскульптуры, а также методов и технических приемов на стоимостные характеристики моделирования.

Функциональные возможности программного комплекса – моделирование в экsterьерах и интерьерах с подбором наиболее приспособленных к необычным условиям произрастания элементов озеленения (для экsterьеров произрастающие в Сибири). Выбор элемента озеленения зависит от данных инженерных изысканий и места дислокации объекта арборскульптуры. В программном комплексе разработано несколько вариантов практического использования объектов арборскульптуры по следующим категориям: объекты городских сооружений, малые архитектурные формы



б)

Правообладатели Смолина О.О., Карелин Д.В. Все права защищены.

б)

Наименование	мин.	макс.
количество лет формирования	13	22
цена за работу в год(руб.)	15600	15600
всего за работу(руб.)	202800	343200
количество элеменов озеленения	1	1
цена за элементы крепления(руб.)	500	800
цена за содержание в питомнике в год(руб.)	1080	1080
цена за содержание в питомнике всего(руб.)	14040	23760
цена за перевоз арборскульптуры к месту(руб.)	1000	1000
сумма(руб.)	218820	369240

не считая остекления или других элементов обрамления(если имеются по проекту)

Вывести изображение на печать

Выход

Правообладатели Смолина О.О., Карелин Д.В. Все права защищены.

Рис. 2. Выходные данные в программном комплексе: «Арборскульптура – расширенный ассортимент растений»
а – формирование для интерьеров; б, в – для экsterьера

и объекты интерьера [4]. Основной модуль программного комплекса – это вариация формирования бионических объектов с учетом применения различных технических приемов (прививка, обрезка, вырезка, обрамление, опалубка), методов создания (постепенный, мгновенный) [5] и типологии форм [6].

Кроме того, основная часть программного комплекса посвящена определению стоимости формирования объекта арборскульптуры с учетом различных факторов, на основании которых варьируются:

1. Количество элементов озеленения, входящих в арборскульптурный объект;
2. Набор технических приемов и учет возможности их замены, например, прививки и изгиба на опалубку;
3. Методы формирования и их влияние на срок «выращивания» бионического объекта;
4. Формирование объектов арборскульптуры на месте дислокации или в специально приспособленных питомниках для их «выращивания» с учетом колебаний стоимости: а) на месте дислокации необходимо учесть расходы на временное декорирование (по необходимости), а также на транспортные расходы арборскульптора до места работы; б) в питомнике для растений необходимо учесть расходы на транспортировку объекта арборскульптуры к месту дислокации (также учесть, что не все объекты арборскульптуры могут подвергаться транспортировке из-за габаритных размеров и особенностей корневой системы элемента озеленения).

В результате научного исследования с учетом проведенного анализа и синтеза был разработан программный комплекс, позволяющий моделировать объекты арборскульптуры в городской среде по входным данным (рис. 1):

- 1) формирование в экsterьере / интерьере;
- 2) данные инженерных изысканий для открытых пространств (экстерьеров);
- 3) место дислокации / «выращивание» в питомнике для растений;
- 4) количество элементов озеленения в архитектурно-художественной композиции объектов арборскульптуры.

Выходные данные программного комплекса (рис. 2):

- 1) подобранный(е) элемент(ы) озеленения с возможностью гуманной коррекции роста для экстерьеров / интерьеров;
- 2) подобранная категория практического использования объектов арборскульптуры для экстерьеров / интерьеров;
- 3) рекомендуемый метод формирования;
- 4) комплекс технических приемов для «выращивания» бионических объектов;
- 5) стоимость и сроки формирования арборскульптурных объектов.

В перспективе, с помощью разработанного программного комплекса [7], возможна пролонгация опыта развития площадок с использованием объектов арборскульптуры в городской среде и увеличением заинтересованных лиц, благодаря доступным рекомендациям по формированию и предоставлению как расчетной стоимости, так сроков работы. По мере устойчивого развития урбанизированных территорий (населенных мест) повышаются требования к проектированию и эксплуатации природных ландшафтов с позиции архитектурно-пространственного создания ресурсоэффективных территориальных образований, корреспондирующих с «живыми» древесными структурами, воздействовавших на природный антропогенный ландшафт [8].

В заключение следует отметить, что разработанный программный комплекс позволяет сделать вывод о максимальной эффективности использования объектов арборскульптуры с минимизацией затрат с позиции частных предпринимателей, инвесторов и привлекательности арборскульптурных объектов с позиций потребителя. Соответственно решается базисная задача крупного города в разрезе улучшения комфорtnости проживания его жителей и эстетического преобразования городской среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Block H.F. *Wir pflanzen eine Laube: bauen mit lebenden Geholzen.* Staufenbei Freiburg: Auflage, 2008. 101 p.
2. Golani E. Method and a kit for shaping a portion of a woody plant into a desired form. Pat. US N 7328532. Publ. 12.02.2008. URL: <http://www.google.com.ar/patents/US7328532> (дата обращения: 12.04.2016).
3. Cook P., Northey B. *3 Methods of tree shaping every aspiring tree shaper should be aware of – 1 stdition.* Yangon: SharBrin, 2010. 14 p.
4. Мурашко О.О. Исторические тенденции ландшафтного дизайна – арборскульптура // Приволж. науч. журн. 2015. № 3 (35). С. 178–183.
5. Мурашко О.О. Технические приемы формирования объектов арборскульптуры // Вестн. ТГАСУ. 2015. № 3 (50). С. 34–45.
6. Link T. *Arborsculpture: An emerging art form and solutions to our environment.* Senior project for Bachelor of Science degree in Landscape Architecture. University of California, Davis, 2008. 33 p.
7. Пат. 2016662618 Российская Федерация. Арборскульптура – расширенный ассортимент растений / О.О. Смолина. № 2016617494; заяв. 12.07.2016; опубл. 16.11.2016. 1 с.
8. Gale B. *The potential of living willow structures in the landscape.* Title of dissertation. Master's thesis. State University of New York College of Environmental Science and Forestry Syracuse. 2011. 54 p.

Смолина Олеся Олеговна, ст. препод.; E-mail: ZelenoeSt-vo@mail.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 28.09.16

Smolina Olesya Olegovna, Senior Lecturer; E-mail: ZelenoeSt-vo@mail.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

METHODOLOGICAL ASPECTS OF BIM OBJECTS ARBORSKULPTURY

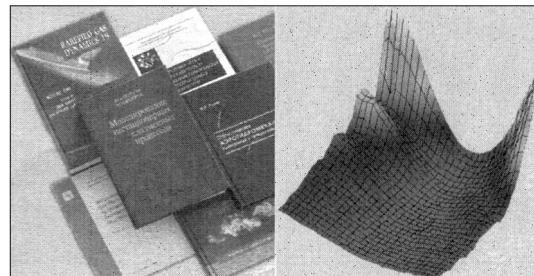
In the article the first time developed a methodology (for open and closed spaces) BIM objects arborskulptury based on specialized software «Arborskulptura». Functional capabilities of software, its inputs and outputs, and analyzes the features of calculating the cost and time of formation of objects arborskulptury. Developed software allows you to create digital prototypes arborskulptury facilities in urban areas, as well as producing a feasibility calculation of bionic form objects.

Key words: arborskulptura, methodology, information modeling, software complex «Arborskulptura».

REFERENCES

1. Block H.F. Wir pflanzen eine Laube: bauen mit lebenden Geholzen. Staufenbei Freiburg, Auflage, 2008. 101 p.
 2. Golani E. Method and a kit for shaping a portion of a woody plant into a desired form. Pat. US N 7328532. Publ. 12.02.2008. Available at: <http://www.google.com.ar/patents/US7328532> (date of access: 12.04.2016)
 3. Cook P., Northey B. 3 Methods of tree shaping every aspiring tree shaper should be aware of – 1 stdition. Yangan, SharBrin, 2010. 14 p.
 4. Mursashko O.O. Istoricheskie tendentsii landschaftnogo dizaina – arborskulptura [Historical trend analysis of landscape design – arborskulptura]. Privilzhskiy nauchny zhurnal [Volga scientific journal]. 2015. No. 3 (35). Pp. 178–183. (in Russian)
 5. Mursashko O.O. Tekhnicheskie priemy formirovaniya ob'ektov arborskulptury [Technical methods of forming objects arborskulptury]. Vestnik TGASU [Herald of Tomsk State Architectural University]. 2015. No. 3 (50). Pp. 34–45. (in Russian)
 6. Link T. Arborsculpture: An emerging art form and solutions to our environment. Senior project for Bachelor of Science degree in Landscape Architecture. University of California, Davis, 2008. 33 p.
 7. Pat. 2016662618 RF. Arborskul'ptura – rasshirennyy assortiment rasteniy [Arborsculpture – advanced range of plants]. O.O. Smolina. No. 2016662618; appl. 12.07.2016; publ. 16.11.2016. 1 p. (in Russian)
 8. Gable B. The potential of living willow structures in the landscape. Title of dissertation. Master's thesis. State University of New York College of Environmental Science and Forestry Syracuse. 2011. 54 p.
-

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ



УДК 691.55 : 666.9.002.237

В.И. ЛОГАНИНА, А.А. ФЕДОСЕЕВ, А.Д. РЫЖОВ

К ВОПРОСУ О КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Проведен анализ нормативных документов, содержащих требования к показателям качества сухих строительных смесей. Приведены сведения о методике расчета количества образцов для испытания штукатурной сухой строительной смеси. Показано, что рассчитанное количество образцов для испытаний отличается от данных, указанных в нормативных документах. Дан пример расчета значений показателей качества на соответствие нормальному закону распределения.

Ключевые слова: оценка качества, уровень дефектности, достоверность контроля качества, сухие строительные смеси.

При выполнении отделочных работ широкое применение находят модифицированные сухие строительные смеси (ССС). Основными преимуществами при применении ССС являются простота использования и высокие технологические и эксплуатационные показатели. Рынок производства ССС различного назначения становится все более конкурентоспособным и согласно статистике объемы производства в России увеличиваются [1].

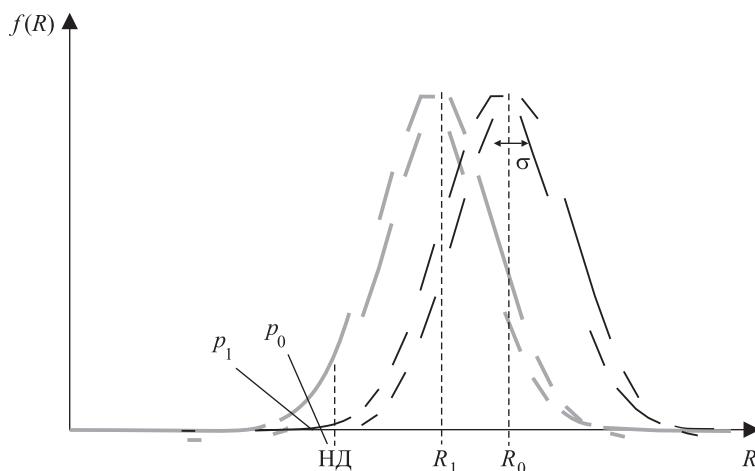
Технические требования к показателям качества ССС, методам их определения изложены в нормативных документах ГОСТ 31356–2013 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний», ГОСТ 33083–2014 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем для штукатурных работ. Технические требования» и др. Однако информация о контроле ССС, содержащаяся в нормативной документации, не учитывает риск изготовителя и потребителя, что снижает достоверность контроля [2–4]. Так, в соответствии с ГОСТ 31356–2013 для контроля качества сухих смесей, упакованных в мешки или пакеты, отбирают по одной точечной пробе от каждой упаковочной единицы, попавшей в выборку. Затем в соответствии с конкретной методикой испытаний изготавливают определенное количество образцов. Однако количество образцов указано без привязки к значению риска поставщика и потребителя, уровню дефектности ССС (в соответствии с договором на поставку). Так, при определении водоудерживающей способности, подвижности растворной смеси число образцов составляет 2. При определении водопоглощения при капиллярном подсосе

число образцов должно быть не менее 3, а число образцов при определении прочности сцепления должно быть не менее 5.

Нами предложено проводить оценку качества сухих смесей, готовых к применению, и затвердевшего раствора с учетом риска производителя и потребителя. Ниже приведена методика расчета необходимого количества образцов.

Известно, что изменчивость свойств строительных материалов подчиняется нормальному закону распределения. Значения показателей качества ССС являются случайными величинами и также подчиняются нормальному закону распределения [5–7].

Учитывая нормальный закон распределения и «трехсигмовые» пределы, «качественные» ССС можно охарактеризовать следующим видом распределения показателя R_i (рисунок) с долей дефектности, не превышающей значения $p_0 = 0,027\%$. При изменении математического ожидания показателя R_i уровень дефектности будет возрастать до значения $p_1 = NQL$, которое будет характеризовать «некачественные» ССС. Уровень дефектности «некачественной» ССС $p_1 = NQL$ задается потребителем.



Законы распределения показателя R_i «качественной»
и «некачественной» ССС

Математическое ожидание «качественной» и «некачественной» ССС будем обозначать соответственно R_0 и R_1 . Среднее квадратическое отклонение σ принимается неизменным и определяется из условия, что зона удовлетворительного состояния показателя качества ССС содержит 6 «сигм» распределения.

Количество образцов, необходимых для испытаний, рассчитывалось по формуле [8, 9]

$$n = \left(\frac{z_{1-\alpha} + z_{1-\beta}}{R_0 - R_1} \right)^2 \sigma^2, \quad (1)$$

где $z_{1-\alpha}$ и $z_{1-\beta}$ – квантили стандартного нормального распределения уровней $(1-\alpha)$ и $(1-\beta)$ соответственно.

Значения α_0 и β_0 будут характеризовать риски «поставщика» и «потребителя» ССС. Значение риска потребителя β_0 зависит от степени доверия T . При отсутствии надежной информации о возможностях поставщика обеспечить требуемое качество $\beta_0 = 0,1$; при отсутствии сертификата на продукцию $\beta_0 = 0,25$; при отсутствии у поставщика сертификата на систему обеспечения качества $\beta_0 = 0,5$.

Значение математического ожидания «некачественного» показателя ССС R_1 можно определить, исходя из соотношения

$$R_1 = \text{НД} + z_{1-NQL}\sigma, \quad (2)$$

где НД – нижний допуск на показатель качества ССС;
 NQL – уровень дефектности.

Расчет необходимого количества образцов проводился на примере легкой штукатурной смеси плотностью менее 1300 кг/м³ в соответствии с ГОСТ 33083–2014. Для примера была взята смесь с подвижностью $\Pi_k 3$ (глубина погружения конуса 8–12 см), водоудерживающей способностью не менее 95 %, класс прочности (КП) II с прочностью при сжатии 2,5–5,0 МПа, прочность сцепления должна быть не менее 0,3 МПа, капиллярное водопоглощение 0,2–0,4 кг/м² · мин^{0,5}.

В таблице приведено рассчитанное количество образцов, необходимых для испытания ССС, в зависимости от уровня дефектности NQL и риска поставщика β_0 .

Анализ результатов расчетов свидетельствует, что рассчитанное количество образцов для испытаний отличается от данных, указанных в ГОСТ 31356–2013. Данные в таблице показывают, что количество образцов для испытаний определяется в зависимости от уровня брака, указанного в договоре на поставку ССС, и риска потребителя. Если у предприятия-изготовителя имеется сертификат на продукцию, имеется статистическое управление процесса производства, то количество образцов для определения показателей качества уменьшается. Так, при определении капиллярного водопоглощения число образцов при риске потребителя β_0 при уровне дефектности 2 % составляет $n = 10$, а при риске, равном $\beta_0 = 0,25$, $n = 6$.

Количество образцов для испытаний ССС

Уровень дефектности <i>NQL</i>	Риск поставщика $\alpha_0 = 0,05$ при риске потребителя β_0		
	0,1	0,25	0,5
<i>Определение прочности при сжатии</i>			
1	19	12	6
2	10	6	3
3	7	5	2
<i>Определение прочности сцепления</i>			
1	42	27	14
2	17	10	5
3	10	7	3
<i>Определение средней плотности</i>			
1	19	12	6
2	10	6	3
3	7	5	2
<i>Определение подвижности</i>			
1	19	12	6
2	10	6	3
3	17	5	2
<i>Определение водоудерживающей способности</i>			
1	42	27	14
2	16	10	5
3	10	7	3
<i>Определение капиллярного водопоглощения</i>			
1	19	12	6
2	10	6	3
3	7	5	2

Предложенный подход к определению необходимого количества образцов при испытании позволит повысить достоверность контроля качества ССС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Б а л м а с о в Г.Ф. Оценка рынка сухих строительных смесей в РФ и путей его развития // ALITINFORM: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2014. № 3. С. 88–99.
2. Логанина В.И., Круглова А.Н. К вопросу о достоверности контроля при производстве бетона // Вестн. Белгород. гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 24–26.
3. Логанина В.И., Макарова Л.В., Тарасов Р.В. Обеспечение качества и повышение конкурентоспособности строительной продукции: моногр. Пенза, 2014.
4. Логанина В.И., Круглова А.Н. Достоверность контроля качества строительных материалов и изделий // Вестн. Белгород. гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова. 2014. № 2. С. 16–18.
5. Xie M., Goh T.N. Statistical techniques for quality // The TQM Magazine. 1999. Vol. 11, Iss. 4. P. 238–242.
6. Wang K.B., Tsung F. Using Profile Monitoring Techniques for a Data-Rich Environment with Huge Sample Size // Quality and Reliability Engineering International. 2005. Vol. 21. P. 677–688.
7. Montgomery D.C., Runger G.C. Applied Statistics and Probability for Engineers. Wiley; New York, 2007.
8. Сакато Сира. Практическое руководство по управлению качеством / пер. с 4-го япон. изд. С.И. Мышкиной; под ред. В.И. Гостяева. М.: Машиностроение, 1980.
9. Шиндовский Э., Щюрц О. Статистические методы управления качеством. М.: Мир, 1976.

Логанина Валентина Ивановна, д-р техн. наук, проф.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Федосеев Алексей Анатольевич, канд. техн. наук, доц., начальник управления по надзору и контролю в сфере образования Министерства образования Пензенской области

Рыжов Антон Дмитриевич, лаборант

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Получено 19.09.16

Loganina Valentina Ivanovna, DSc, Professor

Пenza State University of Architecture and Construction, Russia

Fedoseev Aleksey Anatol'evich, PhD, Ass. Professor, Head of department

Supervision and Control in Education of the Ministry of Education of the Penza Region, Russia

Ryzhov Anton Dmitrievich, Laboratory assistant

Penza State University of Architecture and Construction, Russia

THE ISSUE OF QUALITY CONTROL DRY MIXES

The analysis of regulatory documents containing the requirements for quality indicators of dry construction mixtures. Data on the number of samples for calculating the procedure for the test plaster dry construction mixtures. It is shown that the calculated number of test samples different from those shown in the regulations. An example of calculating the values of quality indicators for compliance with the normal distribution law.

К e y w o r d s: quality assessment, defect rate, quality assurance credibility, dry mixes.

REFERENCES

1. B a l m a s o v G.F. Otsenka rynka sukhikh stroitel'nykh smesey v RF i putey ego razvitiya [Assessment of the market dry mixes Russia and ways of its development]. ALITinform: Cement. Concrete. Dry mixes. 2014. No. 3. Pp. 88–99. (in Russian)
2. L o g a n i n a V.I., K r u g l o v a A.N. K voprosu o dostovernosti kontrolyya pri proizvodstve betona [To question of authenticity in the production control of concrete]. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Belgorod State Technological University]. 2011. No. 4. Pp. 24–26. (in Russian)
3. L o g a n i n a V.I., M a k a r o v a L.V., T a r a s o v R.V. Obespechenie kachestva i povyshenie konkurentospособности stroitel'noy produktsii [To the issue of adjustment of concrete production processes]. Penza, 2014. (in Russian)
4. L o g a n i n a V.I., K r u g l o v a A.N. Dostovernost' kontrolyya kachestva stroitel'nykh materialov i izdeliy [To the question of quality control in the construction industry enterprises]. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Belgorod State Technological University]. 2014. No. 2. Pp. 16–18. (in Russian)
5. X i e M., G o h T.N. Statistical techniques for quality. The TQM Magazine. 1999. Vol. 11, Iss. 4. Pp. 238–242.
6. W a n g K.B., T s u n g F. Using Profile Monitoring Techniques for a Data-Rich Environment with Huge Sample Size. Quality and Reliability Engineering International. 2005. Vol. 21. Pp. 677–688.
7. M o n t g o m e r y D.C., R u n g e r G.C. Applied Statistics and Probability for Engineers. Wiley; New York, 2007.
8. S a k a t a S y r a h. Prakticheskoe rukovodstvo po upravleniyu kachestvom [A practical guide to the quality: Translation Management. I am the 4th edition of the Japanese S.I. Myshkinoy, ed. V.I. Gostyaev]. Moscow, 1980. (in Russian)
9. S h i n d o v s k i y E., S h c h y u r t s O. Statisticheskie metody upravleniya kachestvom [Statistical quality management]. Moscow, 1976. (in Russian)

УДК 697.112.3

Р.А. НАЗИРОВ, В.С. ПОДКОВЫРИН, К.А. ПОДКОВЫРИНА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В НАРУЖНЫХ УГЛАХ ЗДАНИЯ

В углах здания, по сравнению с гладью стены, температура ниже, что способствует образованию конденсата, промерзанию углов, а также увеличению теплопотерь. В СП 50.13330.2012 указано, что температура в углах должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха и должна определяться по результатам расчета температурных полей, что в большинстве случаев представляет собой трудоемкую задачу. В углах здания характер передачи теплоты и распределение температуры отличается от глади стены, так как в углу площадь тепловосприятия меньше площади теплоотдачи, а также меньше коэффициент тепловосприятия. Для оценки влияния этих факторов был выполнен расчет температурных полей и найдены температуры для всех наружных углов с шагом 15°, введен коэффициент, характеризующий зависимость температуры внутренней поверхности угла от его геометрии (с учетом различных сопротивлений теплопередаче стен).

Ключевые слова: температура поверхности, угол здания, расчет температурных полей, конденсат, точка росы.

Введение. Общеизвестный факт, что на внутренней поверхности наружного угла, по сравнению с гладью стены, температура ниже, что является причиной выпадения конденсата, промерзания углов, а также дополнительных теплопотерь здания. Одна из главных задач проектировщика – удовлетворение санитарно-гигиенических и теплотехнических требований нормативных документов. В основном документе СП 50.13330.2012 указано, что температура внутренней поверхности ограждающей конструкции в углах должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха и должна определяться по результатам расчета температурных полей, что в большинстве случаев трудоемкая задача.

Основной вклад в развитие строительной теплотехники внесли К.Ф. Фокин [1], О.Е. Власов, А.М. Шкловер, В.Н. Богословский [2] и другие ученые. Согласно работе [1], в условиях стационарного теплового потока количество теплоты, воспринимаемое внутренней поверхностью ограждения, равно количеству теплоты, проходящему через все ограждение. Из этого равенства выводится формула для определения температуры внутренней поверхности ограждения:

$$\tau_B = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_o} R_B, \quad (1)$$

где t_B – расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая согласно ГОСТ 30494–96;

t_H – расчетная зимняя температура наружного воздуха, °С, принимаемая равной средней температуре наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92 по СП 131.13330.2012;

R_o – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

R_b – сопротивление тепловосприятию, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

В случае с углами характер передачи теплоты и распределение температуры резко меняются по сравнению с плоской стенкой. На глади стены изотермы идут параллельно поверхностям, ограничивающим стену, по мере же их приближения к наружному углу изгибаются и смещаются к внутренней поверхности угла. Выделено две причины понижения температуры в углу:

1. В наружном углу площадь тепловосприятия оказывается меньше площади теплоотдачи (в отличие от глади, где они равны), что приводит к большему охлаждению;

2. Коэффициент тепловосприятия в углу меньше, чем на глади (точнее его конвекционная составляющая), в силу того что скорость воздуха в углу меньше.

В [2] представлено температурное поле для угла 90° однородного ограждения в безразмерном виде с универсальной графической зависимостью. Согласно температурному полю выводятся факторы формы и дополнительные теплопотери угла, а также приводится график изменения относительной избыточной температуры по оси угла в зависимости от отношения сопротивлений теплопередаче.

Данная проблема изучена рядом исследователей [3–7]. В работе [3] рассмотрена математическая постановка задачи вычисления температуры на внутренней поверхности наружного угла здания, имеющего многослойные ограждения с эффективным утеплителем. Приведены формулы для расчета температуры в наружном углу. В [4] предполагается, что дополнительные потери тепла пропорциональны отношению площадей наружной и внутренней поверхности угла. Выполнен пересчет коэффициента, который учитывает добавочные потери теплоты на угловую часть (для углов от 30 до 165°).

В работах [5–6] предлагается алгоритм теплотехнического расчета строительных конструкций с теплотехнически неоднородными участками (краевыми зонами) на основе характеристик, влияющих на теплозащиту зданий. Учет влияния формы здания на уровень его теплозащиты производится при определении поэлементных требований. В [7] рассмотрены теплоизолированные элементы, которые оказывают влияние на теплотехнические свойства ограждающих конструкций. Данна количественная оценка теплопереноса через ограждающие конструкции в зоне теплоизолированных элементов, таких как угловой фрагмент наружной стены и фрагмент сопряжения угловой части наружной стены с балконной плитой. Предложены мероприятия, с помощью которых можно увеличить температуру в области теплоизолированных элементов.

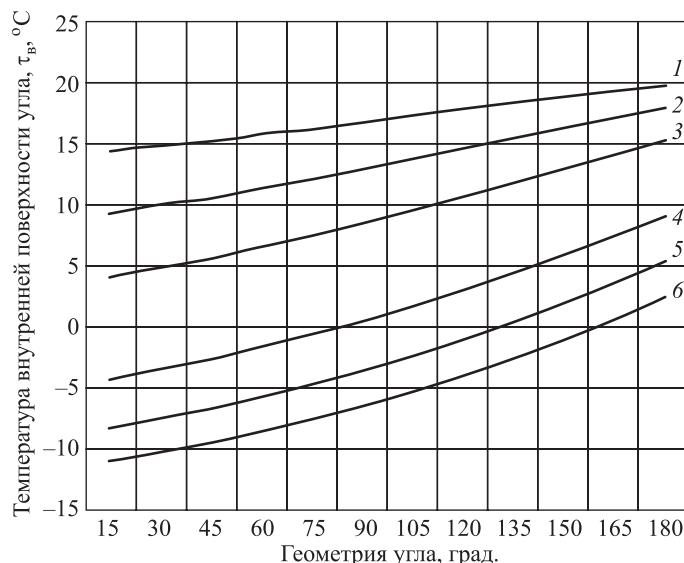
В СТО 17532043-001-2005 приводится формула для нахождения температуры внутренней поверхности угла 90° :

$$\tau_b = t_b - \frac{t_b - t_h}{(R_o a_b)^{2/3}}, \quad (2)$$

где a_b – коэффициент тепловосприятия внутренней поверхности ограждающих конструкций, принимаемый по СП 50.13330.2012.

Таблица 1. Температура на внутренних поверхностях для всех наружных углов с шагом 15° и для глади стены (при различных сопротивлениях теплопередаче)

R_o , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	Угол, $^\circ$											
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0,36	-10,97	-10,21	-9,46	-8,52	-7,58	-6,50	-5,31	-4,01	-2,61	-1,08	0,59	2,40
0,43	-8,20	-7,40	-6,62	-5,64	-4,67	-3,56	-2,35	-1,03	0,38	1,91	3,55	5,32
0,56	-4,23	-3,38	-2,61	-1,58	-0,61	0,52	1,74	3,04	4,42	5,88	7,43	9,06
1,16	4,14	4,98	5,64	6,63	7,48	8,50	9,57	10,67	11,79	12,94	14,09	15,25
2,16	9,32	10,07	10,54	11,41	12,08	12,92	13,78	14,63	15,48	16,32	17,13	17,91
5,16	14,43	14,98	15,20	15,83	16,23	16,79	17,34	17,86	18,37	18,85	19,30	19,71



Зависимость температуры внутренней поверхности угла от его геометрии (при различных сопротивлениях теплопередаче)

1 - $R_o = 5,16$; 2 - $R_o = 2,16$; 3 - $R_o = 1,16$; 4 - $R_o = 0,56$; 5 - $R_o = 0,43$;
6 - $R_o = 0,36$

Таблица 2. Коэффициент x , характеризующий зависимость температуры внутренней поверхности угла от его геометрии

Угол, $^\circ$	Коэффициент x	Угол, $^\circ$	Коэффициент x
15	0,5350	105	0,7006
30	0,5564	120	0,7439
45	0,5747	135	0,7937
60	0,6026	150	0,8516
75	0,6291	165	0,9194
90	0,6624	180	1,0000

Однако, согласно данному обзору литературы, до сих пор не разработан простой и в то же время точный численный метод для нахождения температуры внутренней поверхности для любого угла.

Целью работы является разработка метода для определения температуры внутренней поверхности наружного угла здания. Данное исследование особо актуально в условиях разнообразия форм современных зданий, а также различия климатических условий в городах России.

Материалы и методы. Формулу (1) можно представить в более удобной форме, так как сопротивление тепловосприятию обратно пропорционально коэффициенту тепловосприятия у внутренней поверхности стены:

$$\tau_B = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_o a_B}. \quad (3)$$

Причины понижения температуры в углах, приведенные в [1], влияют только на знаменатель в формуле (3), так как температуру внешнего и внутреннего воздуха можно принять постоянной при одинаковых условиях. К тому же в [1–3] отношение сопротивлений теплопередаче R_B/R_o (или $1/R_o a_B$) также является определяющим критерием.

Чтобы оценить зависимость температуры внутренней поверхности угла от его геометрии, был выполнен расчет температурных полей и найдена температура на внутренних поверхностях для всех наружных углов с шагом 15° , с помощью системы конечно-элементного анализа.

Исходные данные:

Тип конструкции	Наружная однородная стена
Сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	от 0,36 до 5,16
Коэффициент теплоотдачи, a_H (согласно СП 50.13330.2012), $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	23
Коэффициент тепловосприятия, a_B (согласно СП 50.13330.2012), $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	8,7
Температура внутреннего воздуха, t_B (для жилых зданий согласно ГОСТ 30494–96), $^{\circ}\text{C}$	21
Температура наружного воздуха, t_H (для Красноярска согласно СП 131.13330.2012), $^{\circ}\text{C}$	-37

Чтобы найти коэффициент x , который будет характеризовать зависимость температуры внутренней поверхности угла от его геометрии (с учетом различных сопротивлений теплопередаче стен), необходимо решить получившееся уравнение с одним неизвестным (x) и двумя переменными (τ_B и R_o), которые берутся из результатов расчета температурных полей. Для этого был использован метод наименьших квадратов.

Результаты и обсуждение. Результаты экспериментов представлены в табл. 1, 2 и на рисунке.

Согласно графикам на рисунке, установлена нелинейная зависимость температуры внутренней поверхности угла от его геометрии. Следовательно, знаменатель в формуле (3) необходимо возводить в степень x . Тогда окончательная формула для определения температуры внутренней поверхности угла примет вид:

$$\tau_B = t_B - \frac{t_B - t_H}{(R_o a_B)^x}, \quad (4)$$

где x – коэффициент, характеризующий зависимость температуры внутренней поверхности угла от его геометрии, принимаемый по табл. 2.

Формула (4) со значениями коэффициента x (см. табл. 2) является методом, который можно применять в угловых сопряжениях (под углом до 180°) однородных стен с сопротивлением теплопередаче до 5,16 м² · °C/Вт при любых климатических условиях. При использовании данного метода величина среднеквадратического отклонения составляет 0,09 °C, что достаточно для инженерной практики с учетом значительной простоты формулы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). М.: Высш. шк., 1982. 415 с.
3. Самарин О.Д. Определение температуры в наружном углу здания // Энергосбережение и водоподготовка. 2006. № 3. С. 38–39.
4. Толстова Ю., Харитонова Т. Теплопотери острых углов зданий // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2011. № 8 (116). С. 52–53.
5. Корниенко С.В. Оценка влияния краевых зон ограждающих конструкций на теплозащиту и энергоэффективность зданий // Инженерно-строит. журн. 2011. № 8. С. 5–12.
6. Корниенко С.В. Теплотехнический расчет строительных конструкций с краевыми зонами // Вестн. Волгоград. гос. архитектурно-строит. ун-та. Строительство и архитектура. 2013. № 34 (53). С. 22–29.
7. Козлобродов А.Н., Иванова Е.А. Анализ совместного влияния нескольких теплонапряженных элементов на тепловое состояние строительных конструкций // Вестн. Том. гос. архитектурно-строит. ун-та. 2016. № 1 (54). С. 133–139.

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

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Подковырин Владимир Сергеевич, асп.; E-mail: v.pdk@yandex.ru

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Подковырина Ксения Алексеевна, магистр

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Получено 10.10.16

Nazirov Rashit Anvarovich, DSc, Professor

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Podkovyryin Vladimir Sergeevich, Post-graduate Student; E-mail: v.pdk@yandex.ru

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Podkovyryina Ksenia Alekseevna, MSc

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

INTERIOR SURFACE TEMPERATURE MEASUREMENT IN EXTERNAL CORNERS OF THE BUILDING

The temperature in all corners of the buildings is lower than on the wall surface that causes sweating, corners freezing and additional heat loss. According to Joint venture

50.13330.2012 «Buildings thermal protection» the temperature in corners must not be lower than the dew point of inside air and shall be determined by the result of the calculation of temperature field, that in most cases it is a time-consuming task. The heat transfer and temperature distribution in corners differ from wall surface due to the fact that the heat absorption area in corner is less than heat transfer area. The temperature fields were calculated to assess these factors and the temperatures of internal corners in 15 degree increment were measured. Then, the coefficient indicating the temperature dependence of exterior corner on its geometry was introduced (taking into account the different resistance of wall heat transfer).

К e y w o r d s: surface temperature, corner of the building, calculation of temperature fields, sweat, dewpoint.

REFERENCES

1. F o k i n K.F. Stroitel'naya teplotekhnika o grazhdayushchikh chastej zdaniya [Thermal Engineering enclosing parts of the building]. Moscow, ABOK-PRESS, 2006. 256 p. (in Russian)
2. B o g o s l o v s k i y V.N. Stroitel'naya teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopeniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh) [Construction Thermal Physics (thermal heating foundations, ventilation and air conditioning)]. Moscow, 1982. 415 p. (in Russian)
3. S a m a r i n O.D. Opredelenie temperatury v naruzhnom uglu zdaniya [Measurement of the temperature in the external corner of the building]. Energosberezhenie i vodopodgotovka [Energy and Water]. 2006. No. 3. Pp. 38–39. (in Russian)
4. T o l s t o v a Yu., K h a r i t o n o v a T. Teplopoteri ostrykh uglov zdaniy [Heat loss sharp corners of buildings]. Santekhnika, otopenie, konditsionirovaniye [Plumbing, heating, air conditioning]. 2011. No. 8 (116). Pp. 52–53. (in Russian)
5. K o r n i e n k o S.V. Otsenka vliyaniya kraevykh zon o grazhdayushchikh konstruktsiy na teplozashchitu i energoeffektivnost' zdaniy [Assessing the impact of the edge zones walling on heat protection and energy efficiency in buildings]. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal [Civil Engineering Journal]. 2011. No. 8. Pp. 5–12. (in Russian)
6. K o r n i e n k o S.V. Teplotekhnicheskiy raschet stroitel'nykh konstruktsiy s kraevymi zonami [Thermal calculation of building structures with edge zones]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura [Herald of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture]. 2013. No. 34 (53). Pp. 22–29. (in Russian)
7. K o z l o b r o d o v A.N., I v a n o v a E.A. Analiz sovmestnogo vliyania neskolkikh teplonapravlyayushchikh elementov na teplovoe sostoyanie stroitel'nykh konstruktsiy [Analysis of the joint effect of several heat-stressed components on the thermal state of constructions]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Herald of Tomsk State Architectural University]. 2016. No. 1 (54). Pp. 133–139. (in Russian)

УДК 624.131.6:699.82

В.А. ШАПКИНА, Л.И. ОГОРОДОВ

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИЭТИЛЕНА НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Представлены экспериментальные данные по влиянию многолетнего естественного старения без нагрузки и старения образцов под растягивающей нагрузкой на механические характеристики полиэтилена низкой плотности при одноосном растяжении. Дано сравнение механических характеристик нестабилизированного и стабилизированного 2%-м содержанием сажи полиэтилена. Оценено влияние долговременного воздействия золы на механические характеристики полиэтилена низкой плотности, стабилизированного 2%-м содержанием сажи.

Ключевые слова: механические характеристики, полимеры, композиты, противофильтрационные конструкции, долговечность.

Введение. Актуальным направлением технического прогресса в гидротехническом, дорожном, промышленном и гражданском строительстве является защита конструкций от грунтовых и поверхностных вод (вешние воды, осадки, наводнения). При эксплуатации отстойников, накопителей отходов, отвалов, бассейнов-нейтрализаторов существует опасность утечек веществ, отличающихся разнообразием состава и степенью агрессивности, являющихся экологически опасными. Для защиты грунта и грунтовых сооружений используются противофильтрационные конструкции [1–7]: полимерные противофильтрационные экраны, завесы, мембранны. Большинство пленочных элементов выполнено и выполняется из полиэтилена низкой плотности (ПЭНП), но все шире применяются другие полимерные и полимерные композиционные материалы [8–10].

Практически все материалы обладают изменчивостью свойств (старением) во времени, особенно это характерно для полимерных и полимерных композиционных материалов [11–13], а также для других материалов, в частности, сталей и сплавов [14]. Скорость старения зависит от чувствительности материала к действующим факторам, их интенсивности [15]. Изменения свойств материалов могут быть обратимыми и необратимыми. К обратимым относятся такие изменения, которые после устранения внешних факторов, вызывающих эти изменения, исчезают практически полностью, а в противном случае – наоборот. Так как мы планируем прогнозировать долговечность готовых материалов, то под старением будем понимать появление превращений при хранении и эксплуатации.

Постановка задачи. 1. Исследовать механические характеристики образцов ПЭНП в условиях многолетнего старения.

2. Сопоставить результаты испытаний образцов ПЭНП, стабилизированного 2%-м содержанием сажи, в условиях долговременного естественного

старения и образцов этого же материала в условиях воздействия золы ТЭЦ (погружения в золу) в течение того же времени.

Образцы и используемое оборудование. Образцы ПЭНП изготовлены в комплексной лаборатории Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. Они имели форму лопатки с длиной рабочей части 25 мм и шириной 3,5 мм. Толщина образцов колебалась в пределах 0,048–0,064 мм и 0,16–0,23 мм (использовался микрометр ГОСТ 6507–90 I класса точности). Образцы стабилизированного ПЭНП были в форме лопатки, рабочая часть которых имела длину 30 мм, ширину 3,5 мм, толщину $\delta = 0,58 - 0,65$ мм.

Образцы ПЭНП и стабилизированного ПЭНП вырезались вдоль и поперек направления экструзии пленки. Испытания образцов одноосным растяжением (ГОСТы 11262–80, 9550–81) осуществлялись на установках FPZ-100/1 и РМИ-5 с разными скоростями смещения захватов (V , мм/мин) с записью диаграмм деформирования материала. В зависимости от толщины образцы из материала в состоянии поставки группировались по три образца, которые затем испытывались, а результаты опытов представлялись средними значениями. Опыты с образцами, прошедшими долговременное нагружение, выполнены на одном экземпляре. Размеры образцов определялись перед испытанием на растяжение.

Результаты испытаний. Механические характеристики (σ_{pr} – предел пропорциональности, σ_p и ε_p – предельные напряжения и деформации, E_p – модуль упругости) ПЭНП при растяжении ($V = 50$ мм/мин, $\delta = 0,16 - 0,23$ мм) приведены в табл. 1. Образцы ПЭНП (вдоль экструзии пленки) имеют более стабильные механические свойства и высокую прочность, чем образцы, выполненные поперек экструзии.

Таблица 1. Механические характеристики ПЭНП в состоянии поставки (средние значения по трем образцам)

Группа образцов	Вдоль экструзии пленки				Поперек экструзии пленки			
	σ_{pr} , МПа	σ_p , МПа	ε_p , %	E_p , МПа	σ_{pr} , МПа	σ_p , МПа	ε_p , %	E_p , МПа
1	8,70	15,30	450	73,2	8,44	13,64	470	149,8
2	8,98	16,87	460	154,0	8,39	16,48	540	79,8
3	9,02	16,78	472	110,8	8,73	15,89	512	89,2
4	8,29	15,79	445	105,9	8,36	15,40	558	92,6
5	8,81	16,87	450	109,4	8,68	9,37	295	84,8
Среднее	8,76	16,32	455	110,7	8,52	14,16	475	99,2

Средние значения механических характеристик ПЭНП по первым четырем группам образцов (поперек экструзии пленки) составили: $\sigma_{pr} = 8,48$ МПа, $\sigma_p = 15,35$ МПа, $\varepsilon_p = 520$ %, $E_p = 102,9$ МПа. Тем не менее предельные напряжения и значение модуля упругости выше у образцов, вырезанных вдоль экструзии, чем у образцов, ориентированных поперек экструзии пленки. Влияние толщины образцов в указанном диапазоне на механические характеристики (см. табл. 1) ПЭНП несущественна. Этот вывод подтверждают

Таблица 2. Механические характеристики (вдоль экструзии) образцов ПЭНП

Образец №	δ , мм	σ_{pr} , МПа	σ_p , МПа	ε_p , %
1	0,052	7,19	14,32	275
2	0,051	8,13	13,93	240
3	0,054	8,59	16,97	360
4	0,064	7,55	16,09	395
5	0,048	8,47	15,40	295
Среднее	0,054	7,98	15,34	317

Таблица 3. Механические характеристики ПЭНП (вдоль экструзии) после долговременного (189 мес) нагружения одноосным растяжением

Образец №	σ_h , МПа	σ_{pr} , МПа	σ_p , МПа	ε_p , %	E_p , МПа
1	0,87	2,93	10,55	336	132
2	1,31	5,77	16,16	503	138
3	1,76	5,77	14,01	470	137
4	2,18	5,84	12,59	298	142
5	2,63	5,49	13,86	483	133
Среднее	—	5,17	13,43	418	136

результаты испытаний на растяжение ($V = 50$ мм/мин) образцов ПЭНП (вдоль экструзии) толщиной $\delta = 0,048\text{--}0,064$ мм, представленные в табл. 2.

Образцы ПЭНП в состоянии поставки, вырезанные вдоль экструзии пленки, имеют более стабильные механические свойства и большие значения предельных напряжений (на 13 %), модуля упругости (на 17 %), чем образцы, ориентированные поперек экструзии, что отмечалось в работах других авторов.

Влияние толщины образцов (пленки) в диапазоне 0,043–0,23 мм на механические характеристики ПЭНП практически несущественно (с учетом дисперсии результатов опытов) за исключением предельных деформаций, которые у тонких пленок (0,048–0,056 мм) на 30 % меньше, чем у пленок толщиной 0,16–0,23 мм.

Образцы ПЭНП ($\delta = 0,16\text{--}0,23$ мм) нагружались постоянной растягивающей нагрузкой в течение 189–194 мес (~16 лет). В первой серии опытов (189 мес) были зафиксированы начальные напряжения выдержки под нагрузкой σ_h . Во второй серии опытов (194 мес), кроме σ_h , регистрировалась относительная деформация образцов ПЭНП в начале (ε_h) и в конце (ε_k) выдержки. Результаты опытов представлены в табл. 3–5 (σ_{ut} – предел прочности при растяжении, ε_{ut} – деформации, соответствующие пределу прочности). В табл. 6 приведены данные сопоставления полученных результатов.

Анализ результатов испытаний полиэтилена низкой плотности показывает, что долговременное старение образцов ПЭНП под нагрузкой (16–17

Таблица 4. Механические характеристики ПЭНП (вдоль экструзии) после долговременного (194 мес) нагружения одноосным растяжением

Образец №	σ_h , МПа	ε_h , %	ε_k , %	σ_{pr} , МПа	σ_p , МПа	ε_p , %	E_p , МПа	σ_{ut} , МПа	ε_{ut} , %
1	2,63	5,3	6,3	5,50	13,86	480	135	13,86	—
2	5,36	20,8	26,9	5,52	13,63	146	125	13,46	47,0
3	6,25	38,5	59,2	4,71	14,69	78	126	15,25	46,2
4	7,15	51,7	71,2	4,96	17,08	140	122	17,48	41,9
5	8,03	94,5	118,9	5,60	25,21	131	123	25,21	41,8
Среднее	—	—	—	5,26	16,89	195	126	17,05	44,2

Таблица 5. Механические характеристики ПЭНП (поперек экструзии) после долговременного (194 мес) нагружения одноосным растяжением

Образец №	σ_h , МПа	ε_k , %	σ_{pr} , МПа	σ_p , МПа	ε_p , %	E_p , МПа	σ_{ut} , МПа	ε_{ut} , %
1	0,85	2,4	4,96	12,80	707	85	8,41	27,3
2	2,56	5,6	4,54	12,20	572	80	8,65	—
3	4,26	10,0	4,56	10,88	480	72	—	—
4	5,11	24,4	3,75	14,69	540	58	10,31	57,8
5	5,95	21,2	4,04	17,69	487	95	12,69	42,5
6	5,95	30,4	3,96	12,07	224	65	12,24	52,1
Среднее	—	—	4,30	13,39	502	81	10,46	44,9

Таблица 6. Средние значения механических характеристик ПЭНП в состоянии поставки и после долговременного старения под нагрузкой

Вырезка образцов	Состояние образцов	σ_{pr} , МПа	σ_p , МПа	ε_p , %	E_p , МПа
Вдоль экструзии	При поставке	8,76	16,32	455	111
	При поставке (тонкие образцы)	7,98	15,34	317	—
	После нагружения 189 мес	5,17	13,43	418	136
	После нагружения 194 мес	5,29	16,89	195	126
	После нагружения при $\sigma_h < 3$ МПа	5,22	13,50	428	136
	После нагружения при $\sigma_h > 3$ МПа	5,20	17,65	124	124
Поперек экструзии	При поставке	8,52	14,16	475	92
	После нагружения 194 мес	4,30	13,39	502	81
	После нагружения при $\sigma_h < 3$ МПа	4,75	12,50	640	82
	После нагружения при $\sigma_h > 3$ МПа	4,08	13,83	433	80

лет) снижает предел пропорциональности σ_{pr} на 40 % (вдоль экструзии) и на 50 % (поперек экструзии), причем значения модуля упругости меняются разнонаправленно, т.е. на 22 % поникаются (вдоль экструзии) и на 12 % повышаются (поперек экструзии).

Старение образцов ПЭНП под нагрузкой при напряжениях, меньших 3 МПа, приводит к снижению предельных напряжений σ_p на 17 % (вдоль экструзии) и на 12 % (поперек экструзии). При напряжениях предварительного долговременного напряжения ПЭНП больших чем 3 МПа, отмечено повышение предельных напряжений при растяжении на 8 % (вдоль экструзии) при снижении предельных деформаций более чем в 3 раза. С увеличением напряжений σ_h долговременной выдержки отмечается повышение предельного напряжения σ_p , предела прочности σ_{ut} при последующем нагружении одноосным растяжением.

Рассмотрим результаты испытаний ПЭНП, стабилизированного 2%-м содержанием сажи. Образцы первой партии до момента испытаний хранились в условиях отапливаемого (без доступа солнечного света) складского помещения 17 лет, а второй – размещались в золе Магаданской ТЭЦ в тече-

Таблица 7. Механические характеристики образцов стабилизированного ПЭНП

Серия №	V , мм/мин	Первая партия				Вторая партия			
		σ_{pr} , МПа	σ_{ut} , МПа	ε_{ut} , %	E_p , МПа	σ_{pr} , МПа	σ_{ut} , МПа	ε_{ut} , %	E_p , МПа
1	0,4	2,5	8,7	20,3	140	6,4	9,5	20,0	100
2	2,0	3,0	10,0	20,3	180	7,0	10,7	20,8	120
3	20,0	3,5	11,4	18,0	200	7,7	12,1	19,2	135
4	100,0	4,0	12,4	18,0	240	8,5	13,2	12,5	185

Таблица 8. Сопоставление значений механических характеристик ПЭНП второй партии относительно первой, %

Механические характеристики	Скорость деформирования V , мм/мин			
	0,4	2,0	20,0	100,0
σ_{pr}	+156,0	+133,0	+120,0	+112,0
σ_{ut}	-9,2	+7,0	+6,1	+6,4
ε_{ut}	+1,5	+2,5	+6,7	-30,6
E_p	-28,6	-33,3	-32,5	-22,9

ние того же срока. Образцы ориентированы поперек направления экструзии. В каждой серии опытов использовалось 3 образца. Результаты опытов одноосным растяжением образцов представлены в табл. 7 и сопоставлены в табл. 8.

В ходе исследования выявлено, что воздействие золы Магаданской ТЭЦ в течение 17 лет не приводит к катастрофическому изменению механических свойств стабилизированного ПЭНП. Повышается предел пропорциональности более чем на 110 % при снижении модуля упругости в среднем на 29 % по сравнению с этими характеристиками образцов ПЭНП, хранящегося в условиях отапливаемого складского помещения в течение того же срока. Предельные напряжения и деформации изменились несущественно. Значительное изменение модуля упругости при растяжении следует учитывать в расчетах пленочных противофильтрационных конструкций, так как модуль упругости E является параметром расчетных зависимостей [2, 8].

Приведем результаты опытов (табл. 9) на одноосное растяжение образцов ПЭНП (стабилизированного 2%-м содержанием сажи) в состоянии поставки (I) и после 18 лет старения (II). Скорость деформирования составляла 50 мм/мин. Естественное старение в течение 18 лет стабилизированного ПЭНП приводит к менее значительному изменению предельных напряжений и деформаций, чем нестабилизированного полиэтилена.

Таблица 9. Механические характеристики стабилизированного ПЭНП в состоянии поставки (I) и после 18 лет старения (II) в естественных условиях хранения

Вырезка образцов	σ_{pr} , МПа		Изменение, %	E_p , %		Изменение, %
	I	II		I	II	
Вдоль экструзии	14,9	16,8	+12,8	476	633	+33
Поперек экструзии	12,9	11,8	-8,5	552	575	+4,2

Выводы. 1. При долговременном старении образцов ПЭНП под нагрузкой происходит существенное понижение предела пропорциональности материала, а также разнонаправленное изменение модуля упругости (понижение вдоль и повышение поперек экструзии). При этом наблюдаются различия в предельных напряжениях образцов (при старении под нагрузкой при напряжениях, меньших 3 МПа, предельные напряжения снижаются, а при больших повышаются).

2. Результаты испытаний образцов ПЭНП, стабилизированного 2%-м содержанием сажи, показывают, что при естественном старении предельные напряжения и деформации данного материала меняются не столь существенно, как у нестабилизированного ПЭНП. При воздействии золы на стабилизированный ПЭНП наблюдается повышение предела пропорциональности при уменьшении модуля упругости, что необходимо учитывать при расчете пленочных противофильтрационных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольдин А.Л., Лысенко В.П., Борисов Г.В., Радченко В.Г. Проблемы исследований в области создания негрунтовых противофильтрационных конструкций подпорных сооружений // Материалы конференций и совещаний по гидротехнике. Л.: Энергоатомиздат, 1990. С. 6–13.
2. Глебов В.Д. Полимерные пленочные противофильтрационные конструкции грунтовых гидротехнических сооружений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Л., 1982. 52 с.
3. Kramer R.W. Embankment dams; impervious elements other than clay cores // General Report. Q.61 XVI Congress I CDLD. San-Francisco, 1988. Vol. 11. P. 1191–1253.
4. Justo J.L., Conete P., Manzanares J.L., Del Campo J., De Porcellinis P. The upstream facing of Martin Gonzalo rockfill dam // XVI Congress I COLD. San-Francisco, 1988. Q. 61-R. 45. P. 815–837.
5. Бальзаников М.И., Михасек А.А. Применение быстротвердеющих веществ для формирования противофильтрационных элементов в плотинах из каменных материалов // Инженерно-строит. журн. 2012. № 3 (29). С. 48–53.
6. Лукачев О.Н., Телешев Р.И. Противофильтрационные элементы из геомембран. Опыт применения в гидротехническом строительстве // Инженерно-строит. журн. 2009. № 6. С. 35–43.
7. Устян Н.А. Геоконтейнеры в дорожном и гидротехническом строительстве // Инженерно-строит. журн. 2011. № 4 (22). С. 22–25.
8. Огородов Л.И., Павлов П.А., Глебов В.Д. Сопротивление длительному разрушению полиэтилена высокой плотности. К оценке сроков службы гидроизоляции // Проблемы совершенствования асфальтовых и полимерных конструкций гидротехнических сооружений: Материалы конференций и совещаний по гидротехнике. Л.: Энергоатомиздат, 1986. С. 110–113.
9. Хрулев В.М. Перспективные гидроизоляционные и грунтостабилизирующие полимерные материалы // Изв. вузов. Строительство. 1998. № 4–5. С. 139–140.
10. Николаева И.П., Огородов Л.И., Красиков С.В. Ползучесть полиэтилена высокой плотности при различных режимах нагружения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 12(27). С. 50–63.
11. Павлов Н.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях. М.: Химия, 1982. 224 с.
12. Кириллова Э.И., Шульгина Э.С. Старение и стабилизация термопластов. Л.: Химия, 1988. 240 с.

13. Павлов П.А., Огородов Л.И. Длительное сопротивление полимерных и композиционных материалов с учетом многолетнего старения // Механика композитных материалов. 1991. № 4. С. 692–696.
14. Ямалеев К.М., Абраменко Л.А. Деформационное старение трубных стальей в процессе эксплуатации магистральных нефтепроводов // Проблемы прочности. 1989. № 11. С. 125–128.
15. Огородов Л.И. Оценка работоспособности ряда материалов, применяемых в дорожном и гидротехническом строительстве // Актуальные проблемы современного дорожного строительства и хозяйства: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Вологда: ВоГТУ, 2002. С. 109–111.

Шапкина Вероника Андреевна, канд. пед. наук, доц.; E-mail: vrnk@bk.ru
Вологодский государственный университет
Огородов Леонид Иванович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: l.ogorodov@mail.ru
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Получено после доработки 26.09.16

Shapkina Veronika Andreevna, PhD, Ass. Professor; E-mail: vrnk@bk.ru
Vologda State University, Russia
Ogorodov Leonid Ivanovich, PhD, Ass. Professor; E-mail: l.ogorodov@mail.ru
Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Russia

MECHANICAL PROPERTIES OF LOW DENSITY ETHYLENE POLYMER, ADVANCED FOR USAGE IN IMPERVIOUS CONSTRUCTIONS

Test data of mechanical properties of low density ethylene polymer under axial extension and the influence of long-time natural aging is shown. There is the comparison of mechanical properties of stabilized and non-stabilized polyethylene with 2 % content of black. Presented the assessment of longtime influence of black on the strength of polymer. The report about mechanical properties of advanced materials for impervious constructions is given.

К e y w o r d s: mechanical properties, polymers, composites, impervious constructions, life-time.

REFERENCES

1. Gol'din A.L., Lysenko V.P., Borisov G.V., Radchenko V.G. Problemy issledovaniy v oblasti sozdaniya negruntovykh protivofil'tratsionnykh konstruktsiy podpornykh sooruzheniy [Problems of research in the field of creation impervious constructions without soil for retaining structures]. Materialy konferentsii i soveshchaniy po gidrotekhnike [Materials of conferences and meetings in hydraulic construction]. Leningrad, Energoatomizdat, 1990. Pp. 6–13. (in Russian)
2. Lebov V.D. Polimernye plenochnye protivofil'tratsionnye konstruktsii gruntovykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy: Dokt. Diss. [The polymer film of impervious ground hydraulic constructions. Dokt. Diss.]. Leningrad, 1982. 52 p. (in Russian)
3. Kramer R.W. Embankment dams; impervious elements other than clay cores. General Report. Q.61 XVI Congress I CDLD. San-Francisco, 1988. Vol. 11. Pp. 1191–1253.
4. Justo J.L., Conete P., Manzanares J.L., Del Campo J., De Porcellinis P. The upstream facing of Martin Gonzalo rockfill dam. XVI Congress I COLD. San-Francisco. 1988. Q. 61- R. 45. Pp. 815–837.

5. Bal'zannikov M.I., Mikhasek A.A. Primenenie bystrotverdeyushchikh veshchestv dlya formirovaniya protivofil'tratsionnykh elementov v plotinakh iz kamennykh materialov [Using quick-solidify substances for forming the impervious elements in the dams of stone materials]. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal [Magazine of Civil Engineering]. 2012. No. 3 (29). Pp. 48–53. (in Russian)
6. Lukachev O.N., Tellesehev R.I. Protivofil'tratsionnye elementy iz geomembran. Opyt primeneniya v gidrotekhnicheskem stroitel'stve [Impervious elements from geomembrane. Experience of application in hydraulic construction]. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal [Magazine of Civil Engineering]. 2009. No. 6. Pp. 35–43. (in Russian)
7. Ustyain N.A. Geokonteynery v dorozhnom i gidrotekhnicheskem stroitel'stve. [Geocontainers for road and hydraulic construction]. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal [Magazine of Civil Engineering]. 2011. No. 4 (22). Pp. 22–25. (in Russian)
8. Ogorodov L.I., Pavlov P.A., Glebov V.D. Soprotivlenie dlitel'nomu razrusheniyu polietilena vysokoy plotnosti. K otsenke srokov sluzhby gidroizolyatsii [Resistance to long destruction of high density polyethylene. To the assessment of life-time waterproofing]. Problemy sovershenstvovaniya asfal'tovykh i polimernykh konstruktsiy gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Problems improvement of asphalt and polymer constructions for hydraulic construction]. Leningrad, Energoatomizdat, 1986. Pp. 110–113. (in Russian)
9. Khrulev V.M. Perspektivnye gidroizolyatsionnye i gruntostabiliziruyushchie polimernye materialy [Promising waterproofing and stabilizer polymeric materials]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 1998. No. 4–5. Pp. 139–140. (in Russian)
10. Nikolaeva I.P., Ogorodov L.I., Krasikov S.V. Polzuchest' polietilena vysokoy plotnosti pri razlichnykh rezhimakh nagruzheniya [The creep of high density polyethylene under different loading conditions]. Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy [Construction of unique buildings and structures]. 2015. No. 12(27). Pp. 50–63. (in Russian)
11. Pavlov N.N. Starenie plastmass v estestvennykh i iskusstvennykh usloviyakh [Ageing of plastics in natural and artificial conditions]. Moscow, Chemistry, 1982. 224 p. (in Russian)
12. Kirillova E.I., Schul'gina E.S. Starenie i stabilizatsiya termoplastov [Aging and stabilization of thermoplastics]. Leningrad, Chemistry, 1988. 240 p. (in Russian)
13. Pavlov P.A., Ogorodov L.I. Dlitel'noe soprotivlenie polimernykh i kompozitsionnykh materialov s uchetom mnogoletnego stareniya [The long resistance of polymeric and composite materials based on long aging]. Mekhanika kompozitnykh materialov [Mechanics of composite materials]. 1991. No. 4. Pp. 692–696. (in Russian)
14. Yamaleev K.M., Abramenko L.A. Deformatsionnoe starenie trubnykh staley v protsesse ekspluatatsii magistral'nykh nefteprovodov [Deformation aging of pipe steel in the process of operation the big oil pipelines]. Problemy prochnosti [Problems of strength]. 1989. No. 11. Pp. 125–128. (in Russian)
15. Ogorodov L.I. Otsenka rabotosposobnosti ryada materialov, primenyemykh v dorozhnom i gidrotekhnicheskem stroitel'stve [Assessment working capacity range of materials used in road and hydraulic construction]. Aktual'nye problemy sovremennoego dorozhnogo stroitel'stva i khozyaystva [Actual problems modern road construction and maintenance]. Vologda, 2002. Pp. 109–111. (in Russian)

СУСПЕНЗИОННО-НАПОЛНЕННЫЕ БЕТОННЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ПОРОШКОВО-АКТИВИРОВАННЫХ БЕТОНОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

На протяжении многих лет бетоны выпускались с неизменным составом компонентов (цемент–песок–щебень–вода). Лишь с 1960–1970-х гг. в бетоны начали вводить эффективные суперпластификаторы (СП). Но бетонные пластифицированные смеси старого поколения не способны реализовать высокопластичное течение бетонной смеси, т.е. саморастекаемость, самоуплотняемость и высокую пластичность.

В Пензенском государственном университете архитектуры и строительства с 2003 г. ведутся разработка и внедрение пластифицированных супензионно-наполненных порошково-активированных песчаных и щебеночных бетонных смесей с повышенным содержанием диспергированной (разжиженной СП) агрегативно-устойчивой супензионной составляющей, ответственной за разжижение бетонных смесей и превращение их в самоуплотняющиеся. Наши исследования направлены на получение принципиально новых супензионно-наполненных порошково-активированных бетонов с малыми расходами цемента 250–350 кг на 1 м³ бетона. Особенность рецептуры состоит в оптимизации содержания супензионной составляющей в бетонные смеси. Получены принципиально новые супензионно-наполненные порошково-активированные бетоны от марок М200 до марок М1500 (классы по прочности В15–В120) как для вибрационного уплотнения, так и для самоуплотнения, не расслаивающиеся при заливке в форму. Кроме того, в этих бетонах нового поколения используются отсевы камнедробления плотных горных пород, образующиеся как отходы щебня фракции 0–5 мм. В них вложен труд и энергетические затраты, которые могут быть возвращены при потреблении огромных объемов накопившегося сырья, – это дисперсные и тонкозернистые молотые и дробленые горные породы плотного известняка, доломита, гранита, диорита, диабаза, базальта, обсидиана. Для производства этого супензионно-наполненного порошково-активированного бетона нового поколения требуется соответствующая инфраструктура, включающая пневмосепарацию отсевов камнедробления и помол горной породы до тонкости помола цемента.

Новые энерго- и ресурсосберегающие бетоны имеют высокую плотность, водонепроницаемость, морозостойкость, низкое водо- и массоглощение и высокую коррозионную стойкость. У бетонов нового поколения удельный расход цемента на единицу прочности равен 2,5–5 кг/МПа, тогда как у лучших, выпускемых в России 5–10 кг/МПа, а практически на большинстве заводов железобетонных изделий – от 10 до 20 кг/МПа. Бетоны нового поколения наиболее эффективны для железобетона с обычным стержневым армированием, фиброармированием и с комбинированным армированием. Без технологии бетонов нового поколения Россия надолго отстанет от передовых зарубежных стран, и будет по-прежнему изготавливать бетоны из песка–щебня–воды, немного облагораживая их суперпластификаторами или добавляя микрокремнезем для повышения прочности. В перспективе в технологии изготовления бетона возможно использование нанометрических добавок для повышения его прочности и долговечности.

За консультацией можно обращаться к разработчикам

Разработчики:

КАЛАШНИКОВ Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: Kalashnikov_v@yandex.ru
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

ЕРОФЕЕВ Владимир Трофимович, д-р техн. наук, проф.
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск

ТАРАКАНОВ Олег Вячеславович, д-р техн. наук, проф.
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ, ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И РЕДАКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ

1. Рукопись представляется в редакцию на *русском языке*. Зарубежные авторы могут присыпать статьи на *английском языке*. Возможна публикация статьи одновременно в двух вариантах — на русском и английском языках. В этом случае оформляются два текста статьи — на русском языке и точный перевод на английский. Вместе с рукописью представляются:

- *сопроводительное письмо* руководства организации, откуда исходит рукопись;
- *рекомендация* соответствующего академического (кафедры) или научного подразделения (заверенная выписка из протокола заседания подразделения);
- *экспертное заключение* о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись.

Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в редакторе Microsoft Word для Windows (версии от Word 97 до Word 10; от Windows XP до Windows 10). Текст набирают шрифтом Times New Roman Сг размером 14 пт с межстрочным интервалом 1,5, все поля — 20 мм. Обязательна нумерация страниц внизу посередине. Объем рукописи — до 12 страниц А4, включая иллюстрации, таблицы, библиографический список и сведения об авторах.

3. Состав рукописи статьи, правила и образец оформления см. на Internet-сайте журнала <http://izvuzstr.sibstrin.ru/oformlen/>

a) русскоязычная часть:

- индекс УДК — в левом верхнем углу, прописными буквами;
- инициалы, фамилии авторов;
- название статьи;
- аннотация объемом до 1/3 страницы текста (не менее 80 слов);
- ключевые слова (не менее 5);
- текст статьи:
 - следует применять физические величины и их обозначения согласно международной системе СИ;
 - аббревиатуры и сокращения расшифровываются при первом использовании;
 - ф о р м у л ы набирать шрифтом Times New Roman в редакторе формул MS Equation или MathType, в статье должен быть необходимый минимум формул; все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента);
 - русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) набираются прямым шрифтом; латинские буквы — курсивом;
 - во избежание смещения сходных изображений прописных и строчных букв *V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и др., а также трудноразличимых букв и символов *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п. пояснения выполняются простым карандашом на полях;
 - и л л ю с т р а ц и и представляются в редакцию в виде файлов, созданных в Corel Draw или Microsoft Word, записанных с разрешением 300 дпі, с расширением cdr (предпочтительно) или .doc, фотографии — TIFF или JPEG; надписи и цифры набирать шрифтом Times New Roman, иллюстрации, в том числе фотографии, должны иметь хорошую проработку деталей и должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки);
 - иллюстрации распечатываются в двух экземплярах, с подписями к ним, размер иллюстрации — не более 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4;
 - т а б л и ц ы печатаются каждая на отдельном листе, все наименования в них даются полностью, без сокращения слов;
 - б и б л и о г р а ф и ч е с к и й с п и с о к (не менее 8 ссылок), составляется по следующим правилам:
 - в список включаются только опубликованные работы, в порядке упоминания в статье, ссылки на них в тексте статьи даются арабскими цифрами в квадратных скобках, в списке не должно быть нормативных документов (ГОСТов, СНиПов, технических регламентов, правовых актов и т.п. неавторизованных источников) — ссылки на них даются в тексте статьи в развернутом виде или в форме подстрочных сносок, библиографический список следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5–2008 (примеры см. на сайте http://izvuzstr.sibstrin.ru/oformlen/rules_and_examples_of_design_bibliographies_list/), ссылки на интернет- сайты не допускаются;
 - для статей из зарегистрированных электронных журналов указываются фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, выходные данные выпуска, адрес сайта журнала и дата обращения к электронному ресурсу;
 - с в е д е н и я о б а в т о р а х: последовательно для каждого — фамилия, имя, отчество (полностью), учченая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать), наименование учреждения, в котором работает автор, e-mail автора, страна (если не Российская Федерация);

б) англоязычная часть:

- сведения об авторах — последовательно для каждого:
 - фамилия, имя, отчество полностью, транслитерированные в латинские символы по системе BGN (использовать таблицу «правила транслитерации» см. на сайте http://izvuzstr.sibstrin.ru/oformlen/BGN_PCGN_romanization/);

(Окончание правил)

- ученая степень (DSc — доктор наук, PhD — кандидат наук, MSc — магистр, без указания научного направления), ученые звания (Professor, Ass. Professor, Academician of..., Corr. Member of... — профессор, доцент, академик ...), член-корреспондент ...), другое — Senior Lecturer (ст. преподаватель), Engineer (инженер), Post-graduate Student (аспирант), Student (студент);
 - официальное англоязычное название организации (учреждения), города (если не упоминается в названии организации), страны;
 - название статьи;
 - аннотация;
 - ключевые слова (Keywords);
 - библиографический список:
 - для зарубежных источников на латинице — с сохранением оригинального описания;
 - для ссылок на русскоязычные источники — транслитерированные с русских букв на латинские символы (по системе BGN) фамилии и инициалы всех авторов и название статьи; затем в квадратных скобках — название статьи в переводе на английский язык; остальные элементы библиографического описания на английском языке, с исключением разделителей /, —, // и заменой №, с. и С. соответственно на No., p. и Pp., в конце — (in Russian).
4. Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).
5. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению; авторы могут сообщить редакции данные о специалистах по профилю статьи. Доработанную после рецензии статью присыпать в электронном виде.
6. Корректура статьи может предоставляться по запросу автора.
7. Гонорар за опубликование статьи не выплачивается.
8. Журнал публикует информацию о научно-технических разработках в области строительства объемом 1 с., включая 1–2 иллюстрации. Указываются разработчики: фамилия, имя, отчество полностью, звания и контактная информация. Электронная версия обязательна.
9. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высыпаются.

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 раздел
В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

На 2-е полугодие по каталогу «Роспечать» 2016 г.

каталожная цена за 6 месяцев — 3600 р.

цена отдельного номера — 600 р.

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО

№ 10–11 (694–695) 2016

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Н.И. Коновалова*

Технический редактор *Н.М. Макаренко*

Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*

Корректор *Г.И. Шведкина*