

Редакционный совет:

Пилипенко О.В. д-р техн. наук., проф.,
председатель
Голенков В.А. д-р техн. наук, проф.,
зам. председателя
Пузанкова Е.Н. д-р пед. наук, проф.,
зам. председателя
Радченко С.Ю. д.т.н., проф.,
зам. председателя
Борзенков М.И. канд. техн. наук, доц.,
секретарь
Авдеев Ф.С. д-р пед. наук, проф.
Астафьев П.А. д-р юрид. наук, проф.
Желтикова И.В. канд. филос. наук, доц.
Иванова Т.Н. д-р техн. наук., проф.
Зомитова Г.М. канд. экон. наук, доц.
Колчунов В.И. д-р техн. наук., проф.
Константинов И.С. д-р техн. наук, проф.
Косыкин А.В. д-р техн. наук., проф.
Новиков А.Н. д-р техн. наук., проф.
Попова Л.В. д-р экон. наук., проф.
Уварова В.И. канд. филос. наук., доц.

Главный редактор:

Колчунов В.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.

Заместители главного редактора:

Данилевич Д.В. канд. техн. наук, доц.
Колесникова Т.Н. д-р арх., проф.
Коробко В.И. д-р техн. наук, проф.

Редакция:

Бок Т. д-р техн. наук., проф. (Германия)
Бондаренко В.М. акад. РААСН,
д-р техн. наук, проф. (Россия)
Гордон В.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Емельянов С.Г. чл.-корр. РААСН,
д-р техн. наук, проф. (Россия)
Карпенко Н.И. акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)
Коробко А.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Король Е.А. чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)
Римшин В.И. чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)
Сергейчук О.В. д-р техн. наук, проф. (Украина)
Серпик И.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Тамразян А.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Тур В.В. д-р техн. наук., проф. (Белоруссия)
Турков А.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Федоров В.С. акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)
Федорова Н.В. советник РААСН,
д-р техн. наук, проф. (Россия)
Чернышов Е.М. акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)
Шах Р. д-р техн. наук, проф. (Германия)

Ответственный за выпуск:

Савин С.Ю. к.т.н.

Адрес редакции:

302006, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77
Тел.: +7 (4862) 73-43-49
www.build.oreluniver.ru
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство: ПИ №ФС 77-67169
от 16 сентября 2016 г.

Подписной индекс **86294** по объединенному
каталогу «Пресса России»

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2017

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Бедов А.И., Габитов А.И., Салов А.С., Гайсин А.М., Хабибуллина Л.И. Применение компьютерного моделирования при оптимизации сечений элементов железобетонного каркаса	3
Коробко А.В., Шляхов С.В., Лыгина Ю.Е. Определение значений коэффициента формы плоских областей с выпуклым контуром в виде частей круга	13
Коробко В.И., Калашникова Н.Г., Калашникова О.В. Контроль жесткости упругих пластинок с помощью вибрационного метода	26
Позняк Е.В. Моделирование пространственно-временного поля волн Лява по акселерограмме	32

Безопасность зданий и сооружений

Кодыш Э.Н., Мамин А.Н., Бобров В.В., Рэуцу А.В., Кузнеценко С.А. Результаты обследования радиобашни В.Г. Шухова	43
Селяев В. П., Селяев П. В., Алимов М. Ф., Сорокин Е. В. Оценка остаточного ресурса железобетонных изгибаемых элементов, подверженных действию хлоридной коррозии	49

Архитектура и градостроительство

Акуфуна Кабанго, Енин А.Е. Особенности системного анализа функционально-планировочной структуры жилых пространств в условиях тропических стран	59
Булгаков А.Г., Бузало Н.С., Ермаченко П.А. Фотобиологические архитектурные оболочки зданий биосферносовместимых городов и поселений	68
Дворецкий А.Т., Клевез К.Н., Моргунова М.А., Денисова Т.В., Алексашина В.В. Перспективы развития пассивной солнечной архитектуры юга России	76
Звягинцева А.В., Иващук О.А., Пилипенко О.В. Экологическая безопасность городов России на основе методов событийной оценки	85
Холодова Е.В. Полвека курских усадебных музеев: проекты, практика, перспективы	95

Строительные материалы и технологии

Багдасаров А.С., Пулкова А.Ю. Пеногипсовые изделия на основе вяжущих из местных материалов	107
Гончарова М.А., Комаричев А.В., Карасева О.В. Композиционные инъекционные материалы с двухстадийной магнитной обработкой систем твердения	114
Сергейчук О.В. Новое поколение строительных норм по энергоэффективности в Украине	121
Соломенцев А.Б., Ревякин С.Л., Оноприйчук Д.А. Реологическая чувствительность дорожного битума к полимерным добавкам и допустимые технологические температуры асфальтобетонных смесей	128

Рецензия на учебное пособие «Основы строительного производства»	141
--	-----

Editorial council:

Pilipenko O.V. Doc. Sc. Tech., Prof.,
President
Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Vice-president
Puzankova E.N. Doc. Sc. Ped., Prof.,
Vice-president
Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Vice-president
Borzenkov M.I. Candidat Sc. Tech.,
Docent, Secretary
Astafichev P.A. Doc. Sc. Law., Prof.
Avdeyev F.S. Doc. Sc. Ped., Prof.
Ivanova T.N. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.
Koskin A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Novikov A.N. Doc. Sc. Tech., Prof.
Popova L.V. Doc. Ec. Tech., Prof.
Uvarova V.I. Candidat Sc. Philos.,
Docent
Zheltikova I.V. Candidat Sc. Philos.,
Docent
Zomiteva G.M. Candidate Sc. Ec., Docent

Editor-in-chief

Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief assistants:

Danilevich D.V. Candidat Sc. Tech., Docent.
Kolesnikova T.N. Doc. Arc., Prof.
Korobko V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editorial committee

Bock T. Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)
Bondarenko V.M. Doc. Sc. Tech., Prof.
(Russia)
Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Karpenko N.I. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Korobko A.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Korol E.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Rimshin V.I. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Sergeyev O.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)
Serpik I.N. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Tamrazyan A.G. Doc. Sc. Tech., Prof.
(Russia)
Tur V.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Belorussia)
Turkov A.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Fedorov V.S. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Fedorova N.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Chernyshov E.M. Doc. Sc. Tech., Prof.
(Russia)
Schach R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)

Responsible for edition:

Savin S.Yu. Candidat Sc. Tech.

The edition address:

302006, Orel, Moskovskaya Street, 77
+7 (4862) 73-43-49
www.build.oreluniver.ru
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Journal is registered in Russian federal service for
monitoring communications, information tech-
nology and mass communications

The certificate of registration:

ПН №ФЦ 77-67169 from 16.09.2016 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossi»
86294

© Orel State University, 2017

Contents

Theory of engineering structures. Building units

- Bedov A. I., Gabitov A. I., Salov S. A., Gaisin A. M., Khabibullin I. L.** The usage of computer modeling to optimizing the cross-sections of reinforced concrete frame elements 3
Korobko A.V., Shlyakhov S.V., Lygina Y.E. Determination of the shape factor of the plates, representing the figures in the form of parts of a circle 13
Korobko V.I., Kalashnikova N.G., Kalashnikova O.V. Stiffness control of elastic plates on the basis of the vibration method 26
Poznyak E.V. Simulation of love waves space-time fields using an accelerogram 32

Building and structure safety

- Kodysh E.N., Mamin A. N., Bobrov V.V., Reutsu A.V., Kuznechenko S.A.** The results of the survey of the radio tower by V. Shukhov 43
Selyaev V. P., Selyaev P. V., Alimov M. F., Sorokin E. V. Estimation of residual resources of reinforced concrete bending elements subjected to the action of chloride corrosion 49

Architecture and town-planning

- Akufuna Kabango, Yenin A.Ye.** Features functional planning structure of the living spaces in the midst of tropical countries 59
Bulgakov A.G., Buzalo N.S., Ermachenko P.A. Photobiological architectural shells of buildings of the biosphere-compatible cities and settlements 68
Dvoretzky A.T., Klevets K.N., Morgunova M.A., Denisova T.V., Alexashina V.V. Perspectives of the passive solar architecture of the south Russia 76
Zviagintseva A.V., Ivaschuk O.A., Pilipenko O.V. Some development trends in Russian cities studying based on evaluation methods 85
Kholodova E.V. A half-century manor Kursk museums: projects, practice and prospects 95

Construction materials and technologies

- Bagdasarov A.S., Pupkova A.Yu.** Penyogips products based on binders from local materials 107
Goncharova M.A., Komarichev A.V., Karaseva O.V. Composite injection materials of the two-stage magnetic treatment process of solid systems 114
Sergeyev O.V. New generation of building standards on energy efficiency in Ukraine 121
Solomentsev A.B., Revyakin S.L., Onoprichuk D.A. Road bitume rheological sensitivity to polymer additives and allowable technological temperatures of asphalt-concrete mixtures 128

- Review of the book "Fundamentals of construction production" 141**

УДК 693.55

БЕДОВ А.И., ГАБИТОВ А.И., САЛОВ А.С., ГАЙСИН А.М., ХАБИБУЛЛИНА Л.И.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА

Рассмотрены вопросы определения эффективности повышения прочности бетона по критерию снижения расхода арматурной стали для сжатых и изгибаемых железобетонных элементов. На основе проведенных исследований с использованием экономико-математических методов предложен аналитический аппарат для оценки и выявления рациональных областей применения бетонов повышенной прочности в элементах железобетонного каркаса. Выполнено компьютерное моделирование оптимального вариантного сечения железобетонного элемента по критерию снижения материалоемкости и рационального сочетания классов бетона и арматуры. В результате анализа установлены оптимальные области применения бетонов высоких классов по прочности на сжатие, для изгибаемых элементов в составе монолитного железобетонного каркаса, по критерию снижению расхода рабочей арматуры. Результаты исследований применены при проектировании и строительстве ряда каркасно-монолитных зданий повышенной этажности в Республике Башкортостан.

Ключевые слова: железобетон, высокопрочные бетоны, компьютерное моделирование, подбор оптимального сечения, программные комплексы.

В настоящее время компьютеризация и информационная открытость, возможность применения современного оборудования, механизмов и материалов, наряду с самостоятельностью и возможностями строительных организаций, позволяют оптимизировать как проектные решения, так и технологическое обеспечения строительства. Кроме того, развитие вычислительной техники значительно упростило расчет сложных статически неопределимых систем. Это снизило материалоемкость и повлекло за собой увеличение объемов строительства зданий и сооружений с применением монолитных безбалочных каркасов.

Для ставших сегодня массовыми в практике строительства каркасно-монолитных зданий применение бетонов повышенных и высоких классов прочности требует оценки их технико-экономической эффективности. Такая оценка применительно к железобетонным конструкциям целесообразна с учетом характера их нагружения и напряженно-деформированного состояния.

Существующий подход к определению эффективности повышения прочности бетона по критерию снижения расхода арматурной стали для сжатых и изгибаемых железобетонных элементов в дискретной форме представлен в отечественной и зарубежной литературе рядом примеров, но не позволяет получить обобщающие представления о связи прочности бетона и расхода арматуры [1,2].

Несущая способность изгибаемого (балочного, плитного) элемента от действия изгибающего момента рассчитывается по формуле:

$$M_{ult} = R_{s0} A_{s0} \left(h_0 - \frac{R_{s0} A_{s0}}{2 R_{b0} b} \right), \quad (1)$$

где R_{s0} , R_{b0} – расчётные сопротивления арматуры и бетона для исходного сечения;
 h_0 , b – рабочая высота и ширина прямоугольного сечения элемента;

A_{s0} – площадь рабочей арматуры.

Производя подстановку $A_s = \mu_0 b h_0$ в (1) (здесь μ_0 – коэффициент рабочего армирования для исходного сечения), получаем:

$$M_{ult} = R_{s0} \mu_0 b h_0 \left(h_0 - \frac{R_{s0} \mu_0 b h_0}{2 R_{b0} b} \right). \quad (2)$$

Несущая способность вариантного сечения, отличающегося от исходного рабочей высотой сечения (h_{0i}), площадью рабочей арматуры (A_{si}) (коэффициентом рабочего армирования μ_i), расчетным сопротивлением бетона на сжатие для вариантного класса (R_{bi}) и арматуры на растяжение (R_{si}), при неизменности ширины прямоугольного сечения b , будет определяться зависимостью:

$$M_{ult} = R_{s0} \mu_0 b h_0 \left(h_0 - \frac{R_{s0} \mu_0 b h_0}{2 R_{b0} b} \right) = R_{si} \mu_i b h_{0i} \left(h_{0i} - \frac{R_{si} \mu_i b h_{0i}}{2 R_{bi} b} \right). \quad (3)$$

Изменение прочностных характеристик и относительных расходов материалов при сопоставлении исходного и вариантного сечений можно учесть через коэффициенты изменения соответствующих параметров:

α_s и α_b – расчетных сопротивлений для арматуры и бетона соответственно

$$\alpha_s = \frac{R_{si}}{R_{s0}}, \quad \alpha_b = \frac{R_{bi}}{R_{b0}}; \quad (4)$$

η_s и η_b – материалоемкости (расхода материала) для арматуры и бетона соответственно

$$\eta_s = \frac{\mu_{si}}{\mu_{s0}}, \quad \eta_b = \frac{h_{0i}}{h_0}. \quad (5)$$

Условие равнопрочности при этом получит вид:

$$\begin{aligned} R_{s0} \mu_0 b h_0 \left(h_0 - \frac{R_{s0} \mu_0 h_0}{2 R_{b0}} \right) &= (R_{s0} \alpha_s) (\mu_0 \eta_s) b (h_0 \eta_b) \left(h_0 \eta_b - \frac{(R_{s0} \alpha_s) (\mu_0 \eta_s) (h_0 \eta_b)}{2 R_{b0} \alpha_b} \right) = \\ &= \alpha_s \eta_s \eta_b R_{s0} \mu_0 b h_0 \left(\eta_b h_0 - \frac{\alpha_s \eta_s \eta_b R_{s0} \mu_0 h_0}{2 R_{b0} \alpha_b} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

Введем параметр k_0 :

$$k_0 = \frac{R_{s0}}{2 R_{b0}}. \quad (7)$$

Подставляя k_0 в (6), получаем:

$$1 - \mu_0 k_0 = \alpha_s \eta_s \eta_b \left(\eta_b - \frac{\alpha_s \eta_s \eta_b \mu_0 k_0}{\alpha_b} \right). \quad (8)$$

Тогда взаимосвязь коэффициентов, характеризующих эффективность вариантного сечения с измененными параметрами – классом прочности бетона, расходом бетона, коэффициентом рабочего армирования и расчетным сопротивлением арматуры на растяжение, примет вид:

$$\alpha_b = \frac{\alpha_s^2 \eta_s^2 \eta_b^2 \mu_0 k_0}{\alpha_s \eta_s \eta_b^2 - 1 + \mu_0 k_0}. \quad (9)$$

Полученная зависимость (9) носит общий характер [3,4], представлена в безразмерных параметрах (Таблица 1) и может быть использована для решения следующих задач:

1. О снижении расхода арматурной стали за счет повышения класса прочности бетона на сжатие при неизменной прочности арматуры и неизменном расходе бетона ($\alpha_s=1$, $\eta_b=1$);
2. О снижении расхода арматурной стали за счет увеличения высоты рабочего сечения элемента, т.е. повышения удельного расхода бетона при неизменной прочности бетона и арматуры ($\alpha_b=1$, $\alpha_s=1$);
3. О снижении удельного расхода бетона при повышении класса прочности бетона на сжатие при одинаковой прочности и неизменном расходе арматуры ($\alpha_s=1$, $\eta_s=1$);
4. О снижении расхода арматурной стали путем замены исходного класса стали (например А400) на повышенный класса А500С при одинаковой прочности и неизменном расходе бетона ($\alpha_b=1$, $\eta_b=1$);
5. Другие задачи при одновременном изменении нескольких параметров сечения.

Таблица 1 - Результаты решения основных задач по оценке эффективности применения бетонов и арматурных сталей повышенных и высоких классов прочности в изгибаемых (плитных) элементах

№	Содержание задачи	Относительные параметры				Формулы взаимосвязи параметров, характеризующих эффект	
		α_s	α_b	η_s	η_b		
1	Эффективность повышения прочности бетона по критерию снижения расхода арматурной стали при неизменном расходе бетона	1	α_b	η_s	1	$\alpha_b = \frac{\eta_s^2 \mu_0 k_0}{\eta_s + \mu_0 k_0 - 1}$	$\eta_s = \frac{\alpha_b \pm \sqrt{\alpha_b^2 - 4\mu_0 k_0 + 4\mu_0^2 k_0^2 \alpha_b}}{2\mu_0 k_0}$
2	Оптимизация соотношения удельных расходов бетона и арматуры в плитных элементах	1	1	η_s	η_b	$\eta_b = \sqrt{\frac{\mu_0 k_0 - 1}{\eta_s^2 \mu_0 k_0 - \eta_s}}$	$\eta_s = \frac{\eta_b \pm \sqrt{\eta_b^2 - 4\mu_0 k_0 + 4\mu_0^2 k_0^2}}{2\mu_0 k_0 \eta_b}$
3	Эффективность повышения прочности бетона по критерию снижения расхода бетона	1	α_b	1	η_b	$\alpha_b = \frac{\eta_b^2 \mu_0 k_0}{\eta_b^2 - 1 + \mu_0 k_0}$	$\eta_b = \sqrt{\frac{\alpha_b \mu_0 k_0 - \alpha_b}{\mu_0 k_0 - \alpha_b}}$
4	Снижение расхода арматурной стали путем замены исходного класса стали по прочности на повышенный класс при одинаковой прочности и неизменном расходе бетона	α_s	1	η_s	1	$\eta_s = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4\mu_0 k_0 + 4\mu_0^2 k_0^2}}{2\mu_0 k_0 \alpha_s}$	
5	Эффективность повышения прочности бетона и арматурной стали по критерию снижения расхода арматурной стали при неизменном расходе бетона	α_s	α_b	η_s	1	$\eta_s = \frac{\alpha_b \pm \sqrt{\alpha_b^2 - 4\mu_0 k_0 \alpha_b + 4\mu_0^2 k_0^2 \alpha_b}}{2\mu_0 k_0 \alpha_s}$	

Выполнено компьютерное моделирование оптимального вариантного сечения железобетонного элемента по критерию снижения материалоемкости и рационального сочетания классов бетона и арматуры [5,6]. Наложены ограничения по второй группе предельных состояний.

Исходными параметрами для выбора оптимального решения при использовании программы являются класс прочности бетона и арматуры, процент армирования и решение требуемой задачи по изменению класса бетона или арматуры. Программа позволяет рассчитать на выходе оптимальный расход арматурной стали вариантного сечения при применении высокопрочных бетонов классов до B90 [7,8]. Расчет ведется при одной и той же несущей способности изгибаемого элемента.

Программа позволяет выполнить вариантную количественную оценку расхода арматурной стали для изгибаемых железобетонных элементов без преднапряжения при изменении прочности бетона на сжатие и класса арматурной стали (Рисунок 1). Область применения программы – проектирование монолитных балочных и безбалочных перекрытий.

Программа позволяет рассчитать на выходе оптимальный расход арматурной стали вариантного сечения. Расчет ведется при одной и той же несущей способности изгибаемого элемента.

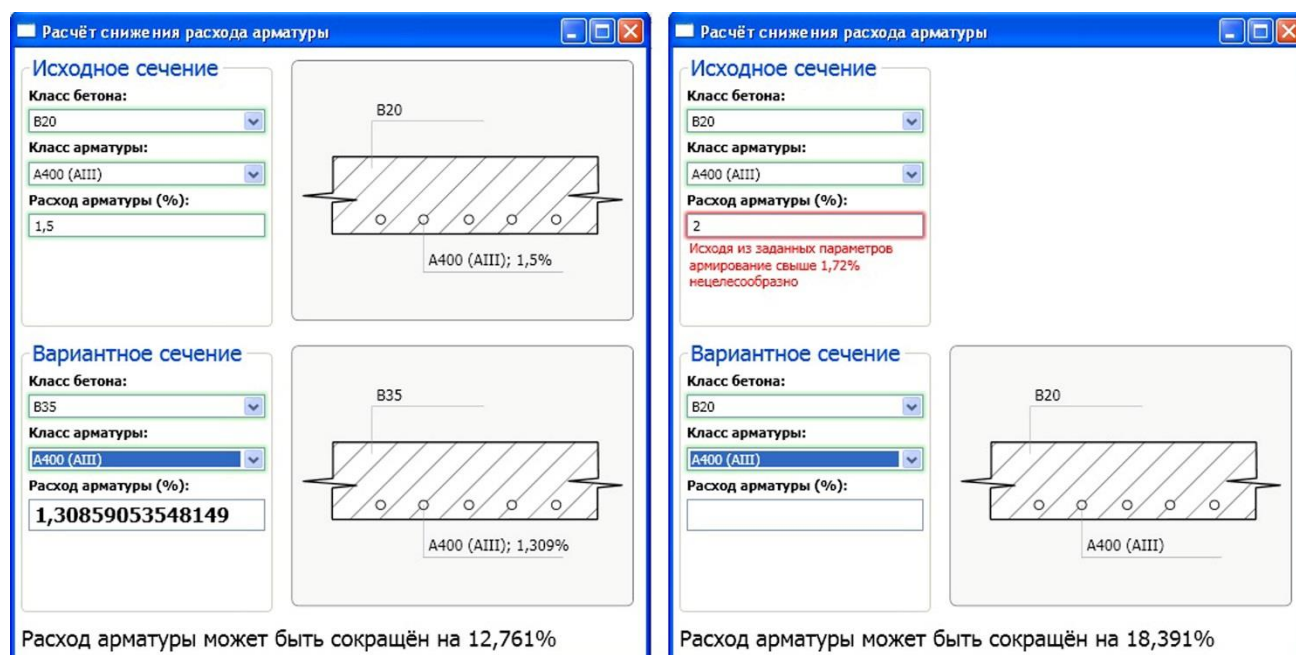


Рисунок 1 - Графический интерфейс пользователя программы «Расчет эффективного расхода арматурной стали для вариантного сечения изгибаемого железобетонного элемента»

В последней зарегистрированной программе расчет осуществляется по всем четырем параметрам сечения: рабочая высота сечения (h_{oi}), площадь рабочей арматуры (A_{si}) (коэффициент рабочего армирования (μ_i)), расчетные сопротивления бетона на сжатие для вариантного класса (R_{bi}) и арматуры на растяжение (R_{si}).

Пользователь должен выбрать параметр вариантного сечения, который он хочет изменить (класс бетона, класс арматуры, расход бетона или арматуры). Алгоритм программы и графический интерфейс представлены на Рисунке 2.

Предлагаемый аппарат позволяет оперативно выполнить количественную оценку эффективности и выявить рациональные области применения бетонов повышенной прочности в изгибаемых железобетонных элементах для технико-экономического

обоснования на стадии проектирования, что особенно важно при проектировании каркасно-монолитных объектов [9, 10].

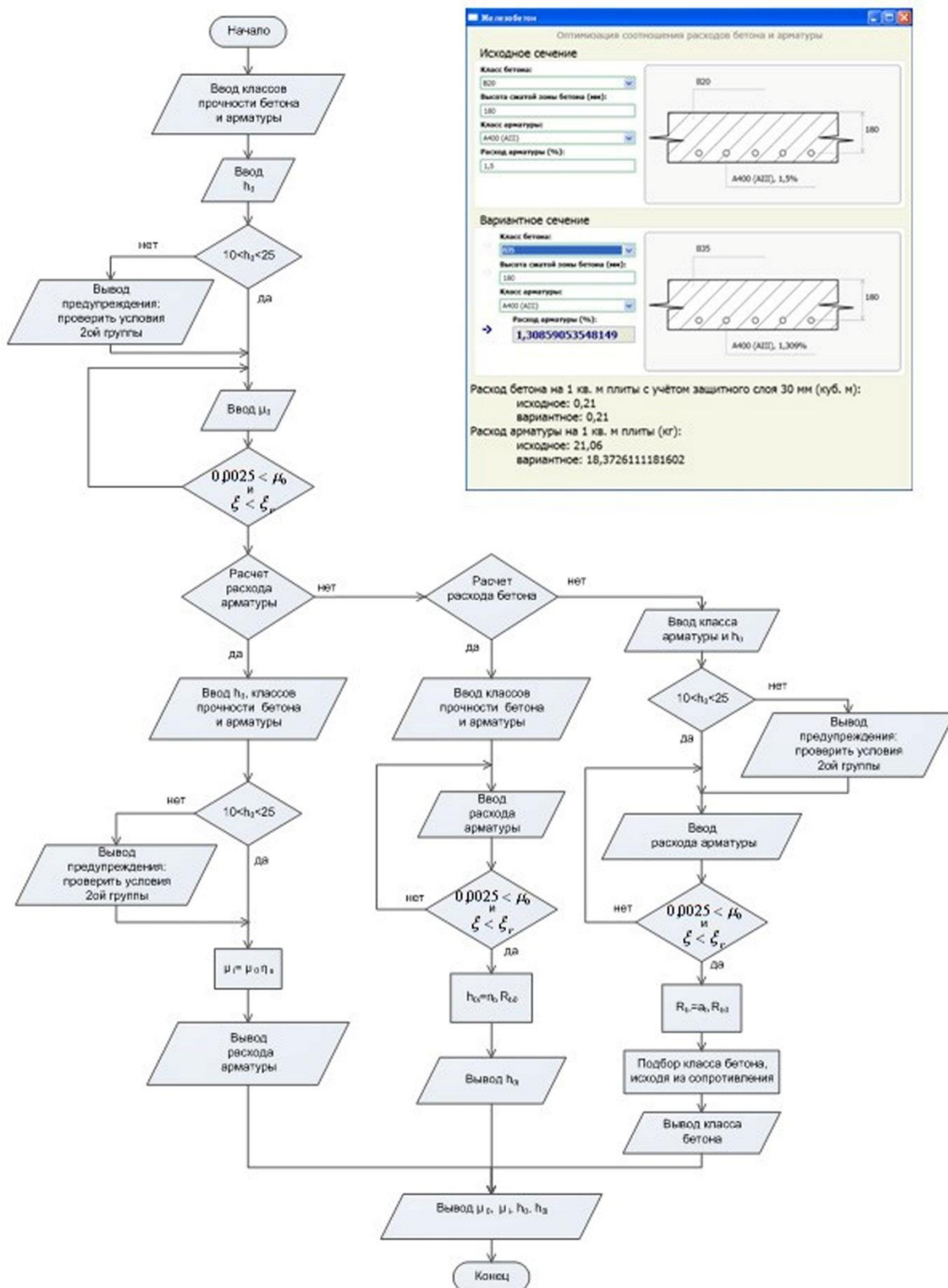


Рисунок 2 - Блок-схема и графический интерфейс пользователя разработанной программы для ЭВМ

На основе использования программных комплексов SCAD-Office и ЛИРА-САПР были определены основные усилия, произведены расчеты несущей способности элементов каркаса и определены характеристики армирования (Рисунок 3).

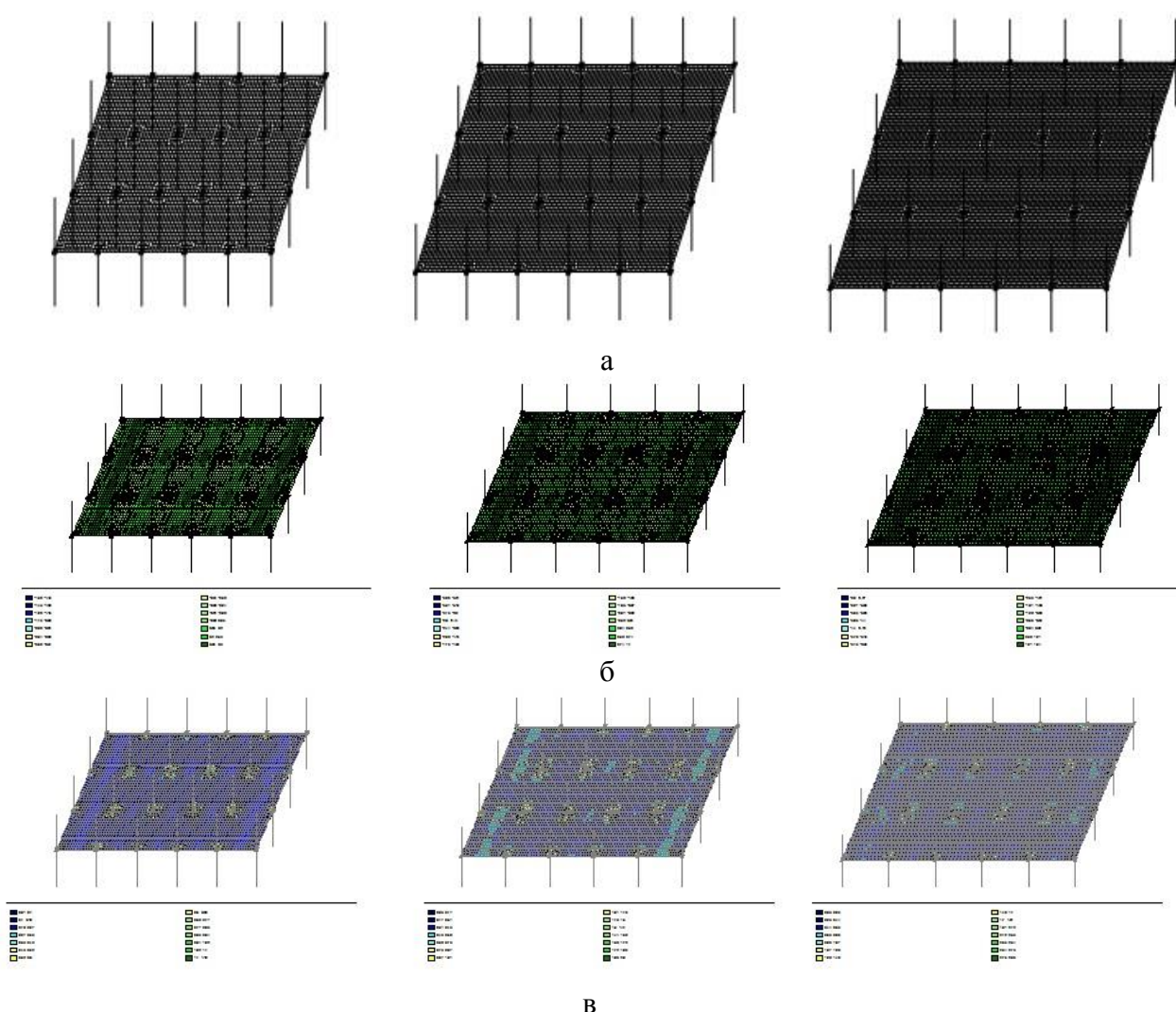


Рисунок 3 - Расчетные схемы, моменты и проценты армирования от расчетных нагрузок:
а) расчетные схемы с пролетами: 4,5м; 6м; 7,2м; б) результаты расчетов в ПК SCAD,
поля напряжений; в) результаты подбора арматуры

Данные анализа по снижению расхода рабочей арматуры А400, а также по арматуре А500С указывают на то, что использование бетонов особо высоких классов прочности дает максимальный эффект для изгибаемых (плитных) элементов около 25%. Из этого анализа также следует, что предельным уровнем повышения прочности бетона при исходном классе В20-В25 следует считать класс прочности В40-В50 [11]. Применение бетонов классов прочности выше В50-В60 в изгибаемых (плитных) элементах с целью снижения расхода арматурной стали неэффективно, что подтверждается данными рисунков 4.

Расчеты по второй группе предельных состояний (деформации и трещиностойкость) выявили в окончательной форме рациональные области применения бетонов повышенных классов по прочности на сжатие и арматуры А500С в зависимости от толщины изгибаемых элементов и расхода (%) рабочей арматуры [12]. Результаты этих расчетов представлены на Рисунке 4.

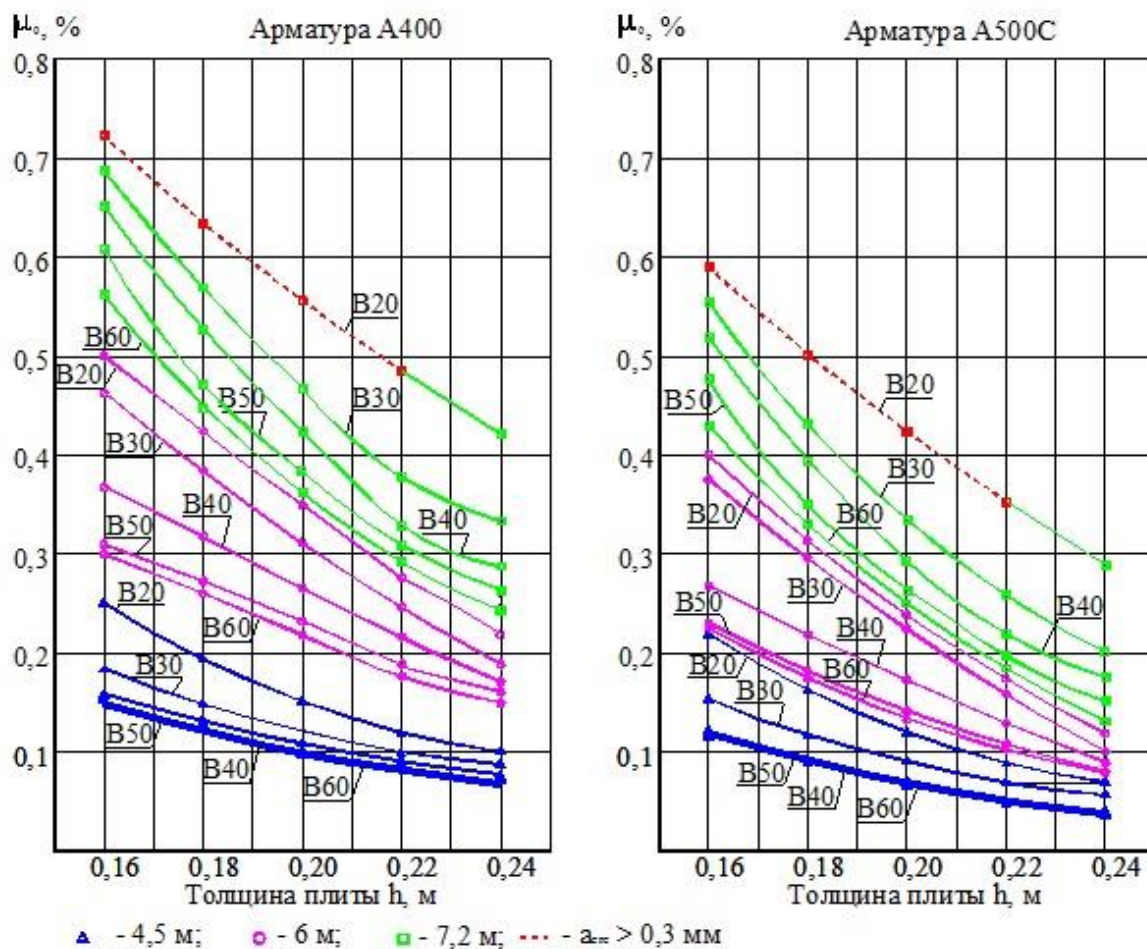


Рисунок 4 – Зависимости процента армирования от толщины плиты, класса прочности бетона и сетки колонн каркаса

Проведенные расчеты подтвердили правильность ранее выведенных положений о границах и критериях (областях) снижения материалоемкости (расходов арматуры и бетона) элементов каркаса [13].

Выводы:

1. На основе проведенных исследований с использованием экономико-математических методов предложены автоматизированные программные комплексы, позволяющие решать задачи оптимизации расчета и конструирования монолитного железобетонного каркаса.
2. Проведены многофакторные численные исследования и разработаны расчетные модели напряженно-деформированного состояния монолитных железобетонных плит перекрытия с варьированием пролетов, толщин, нагрузок, классов бетона и арматуры, что позволяет существенно уточнить расчетные параметры, определяющие их несущую способность.
3. Предложен аналитический аппарат для оценки и определения рациональных областей применения бетонов повышенной прочности в сжатых и плитных железобетонных элементах. Установлено, что оптимальным в изгибаемых элементах с целью снижения расхода арматуры при пролетах до 6 м является применение бетонов классов по прочности на сжатие - до B40, а при пролетах свыше 6 м – до B50.
4. Результаты исследований применены при проектировании и строительстве ряда каркасно-монолитных зданий повышенной этажности, в частности жилых домов: «Каскад» и «Седьмое небо» в Октябрьском районе г.Уфы, 25-этажных жилых домов № 9,10 в

микрорайоне «Бакалинский» г.Уфы, что обеспечило фактическое снижение материалоемкости и стоимости до 20-30 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браун, В. Расход арматуры в железобетонных элементах [Текст] / В. Браун; перевод с немецкого В.Ф.Гончара. - М.: Стройиздат, 1993. - 144 с.
2. Бедов, А.И. Оптимальное проектирование железобетонных изгибаемых элементов в составе монолитного каркаса при варьировании классов прочности бетона и арматуры [Текст] / А.И. Бедов, А.С. Салов, В.В. Бабков, А.И. Габитов, И.В. Недосеко // В сборнике: Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия под редакцией А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы. - 2016. - С. 503-507.
3. Бедов, А.И. Монолитное строительство в Республике Башкортостан: от теории к практике [Текст] / А.И.Бедов, В.В.Бабков, А.И.Габитов, Р.Р.Сахибгареев, А.С.Салов // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С.110-121.
4. Тамразян, А.Г. Бетон и железобетон: проблемы и перспективы [Текст] // Промышленное и гражданское строительство. - 2014. - № 7. - С. 51-54.
5. Салов, А.С. Расчет оптимального вариантного сечения и вариантного армирования изгибаемого железобетонного элемента по критерию снижения материалоемкости и рационального сочетания классов бетона и арматуры: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011613598; правообладатель ГОУ ВПО УГНТУ; заявл. 21.03.2011; зарег. 05.05.2011.
6. Бедов, А.И. Напряженно-деформированное состояние конструкций несущих стен из высокопустотных керамических изделий [Текст] / А.И. Бедов, А.М. Гайсин, А.И. Габитов, А.С. Салов, А.А. Галлямов // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 3. С. 58-63.
7. Батраков, В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы [Текст] // Строительные материалы. - 2006. - №10. - С. 4-7.
8. Сеськин, И.Е. Влияние суперпластификатора С-3 на формирование прочности пресованного бетона [Текст] / И.Е. Сеськин, А.С. Баранов // Строительные материалы. - 2013. - № 1. - С 32-33.
9. Кабанцев, О.В. Расчет конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий с учетом изменения основных параметров расчетной модели в режимах возведения и эксплуатации [Текст] // Бетон и железобетон - взгляд в будущее. Научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: в 7 томах. - М: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2014. - С.282-292.
10. Калашников, В.И. Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов [Текст] // Строительные материалы. - 2008. - № 10. - С.4-6.
11. Shah, S.P. High performance concrete: Properties and applications / S.P. Shah, S.H. Ahmad. - McGraw-Hill, Inc., 1994. - 403 p.
12. Бедов, А.И. Применение компьютерного моделирования при оценке напряженно-деформированного состояния несущих конструкций зданий из каменной кладки [Текст] / А.И. Бедов, А.И. Габитов, А.А. Галлямов, А.С. Салов, А.М. Гайсин // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. - 2017. - № 1. - С. 42-49.
13. Бедов, А.И. Компьютерное моделирование работы под нагрузкой высокопустотных керамических стеновых изделий и кладок на их основе [Текст] / А.И. Бедов, А.М. Гайсин, А.И. Габитов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. - 2017. - №3 (369). - С. 215-220.

Бедов Анатолий Иванович

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет", г. Москва
Кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций
E-mail: gbk@mgsu.ru

Габитов Азат Исмаилович

ФГБОУ ВО "Уфимский государственный нефтяной технический университет", г. Уфа.
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительных конструкций,
E-mail: azat7@ufanet.ru.

Салов Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО "Уфимский государственный нефтяной технический университет", г. Уфа.
кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства»
E-mail: salov@list.ru.

Гайсин Аскар Миниярович

ФГБОУ ВО "Уфимский государственный нефтяной технический университет", г. Уфа.

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций

e-mail: askargaisin@yandex.ru.

Хабидуллина Лилия Илдусовна

ФГБОУ ВО "Уфимский государственный нефтяной технический университет", г. Уфа.

магистр кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства»

E-mail: lilium625@yandex.ru

A. I. BEDOV, A. I. GABITOV, S. A. SALOV, A. M. GAISIN, I. L. KHABIBULLIN

THE USAGE OF COMPUTER MODELING TO OPTIMIZING THE CROSS-SECTIONS OF REINFORCED CONCRETE FRAME ELEMENTS

The problems of determining the effectiveness of increasing the strength of concrete by the criterion for reducing the consumption of reinforcing steel for compressed and bent iron concrete elements are considered. By based on research with using of economic-mathematical methods was proposed analytical sequence for assess and detection rational area using of high strength concrete of elements reinforce concrete frame. Was performed the computer modeling of optimal variety cross section of reinforced concrete element by criterion of dematerialization and rational using class of concrete and reinforcement. In result of analysis established optimal area application concrete of high strength classes compression capacity, for flexural member in monolithic reinforced concrete frame by criterion reduction in consumption of working reinforcement. The results of research are using in designing and building skeletonized monolithic buildings higher floors.

Key words: reinforced concrete, high-strength concretes, computer modeling, selection of the optimal section, software complexes.

REFERENCES

1. Braun V. Raskhod armatury v zhelezobetonnykh elementakh (perevod s nemetskogo V.F.Gonchara) M.: Stroyizdat, 1993. 144 s.
2. Bedov A.I., Salov A.S., Babkov V.V., Gabitov A.I., Nedoseko I.V. Optimal'noye proyektirovaniye zhelezobetonnykh izgibayemykh elementov v sostave monolitnogo karkasa pri var'irovani klassov prochnosti betona i armatury // V sbornike: Sovremennyye problemy rascheta zhelezobetonnykh konstruksiy, zdaniy i sooruzheniy na avariynnye vozdeystviya pod redaktsiyey A.G. Tamrazyana, D.G. Kopanitsy. 2016. S. 503-507.
3. A.I. Bedov, V.V.Babkov, A.I.Gabitov, R.R.Sakhibgareyev, A.S.Salov Monolitnoye stroitel'stvo v Respublike Bashkortostan: ot teorii k praktike // –Vestnik MGSU. 2013. № 10. S.110-121.
4. Tamrazyan A.G. Beton i zhelezobeton: problemy i perspektivy // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2014. № 7. S. 51-54.
5. Salov A.S. Raschet optimal'nogo variantnogo secheniya i variantnogo armirovaniya izgibayemogo zhelezobetonnoogo elementa po kriteriyu snizheniya materialoyemkosti i ratsional'nogo sochetaniya klassov betona i armatury: Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2011613598; pravoobladatel' GOU VPO UGNTU; zayavl. 21.03.2011; zareg. 05.05.2011.
6. Bedov A.I., Gaysin A.M., Gabitov A.I., Salov A.S., Gallyamov A.A. Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye konstruksiy nesushchikh sten iz vysokopustotnykh keramicheskikh izdeliy // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2017. № 3. S. 58-63.
7. Batrakov V.G. Modifikatory betona: novyye vozmozhnosti i perspektivy // Stroitel'nyye materialy. M, 2006. №10. S. 4-7.
8. Ses'kin I.Ye., Baranov A.S. Vliyaniye superplastifikatora S-3 na formirovaniye prochnosti pressovannogo betona // Stroitel'nyye materialy. 2013. № 1. S 32-33.
9. Kabantsev O.V. Raschet konstruksiy mnogoetazhnykh i vysotnykh zhelezobetonnykh zdaniy s uchetom izmeneniya osnovnykh parametrov raschetnoy modeli v rezhimakh vozvedeniya i ekspluatatsii // Beton i zhelezobeton -

vzglyad v budushcheye. Nauchnyye trudy III Vserossiyskoy (II Mezhdunarodnoy) konferentsii po betonu i zhelezobetonu: v 7 tomakh. M: Natsional'nyy issledovatel'skiy Moskovskiy gosudarstvennyy stroitel'nyy universitet, 2014. S.282-292.

10. Kalashnikov V.I. Raschet sostavov vysokoprochnykh samouplotnyayushchikhsya betonov // Stroitel'nyye materialy. M, 2008. № 10. S.4-6.

11. Shah S.P., Ahmad S.H. High performance concrete: Properties and applications // McGraw-Hill, Inc. 1994. 403 p.

12. Bedov A.I., Gabitov A.I., Gallyamov A.A., Salov A.S., Gaysin A.M. Primeneniye komp'yuternogo modelirovaniya pri otsenke napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya nesushchikh konstruktsiy zdaniy iz kamennoy kladki // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2017. № 1. S. 42-49.

13. Bedov A.I., Gaysin A.M., Gabitov A.I. Komp'yuternoye modelirovaniye raboty pod nagruzkoy vysokopustotnykh keramicheskikh stenovykh izdeliy i kladok na ikh osnove // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. 2017. №3 (369). S. 215-220.

A. I. Bedov

National research Moscow state construction University, Moscow

Candidate of technical Sciences, Professor, Professor, Department of reinforced concrete and stone constructions

E-mail: gbk@mgsu.ru

A. I. Gabitov

Ufa state oil technical University, Ufa.

doctor of technical Sciences, Professor, Professor, Department of building structures,

E-mail: azat7@ufanet.ru.

A. S. Salov

Ufa state oil technical University, Ufa.

candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "roads and technology of building production"

E-mail: salov@list.ru.

A. M. Gaisin

Ufa state oil technical University, Ufa.

candidate of technical Sciences, associate Professor of Department of building structures

e-mail: askargaisin@yandex.ru.

L. I. Khabibullina

Ufa state oil technical University, Ufa.

master of the Department "roads and technology of building production"

E-mail: lilium625@yandex.ru

УДК 624.04

КОРОБКО А.В., ШЛЯХОВ С.В., ЛЫГИНА Ю.Е.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ ПЛОСКИХ ОБЛАСТЕЙ С ВЫПУКЛЫМ КОНТУРОМ В ВИДЕ ЧАСТЕЙ КРУГА

В статье приводятся сведения о коэффициенте формы плоских областей с выпуклым контуром в виде частей круга (секторы, сегменты и др.), получены формулы для подсчета коэффициента формы таких областей, исследованы их изопериметрические свойства и закономерности изменения при разнообразных геометрических преобразованиях. Указывается, что полученные сведения могут эффективно использоваться при развитии геометрических методов решения задач строительной механики и, в частности, задач технической теории пластинок и кручения призматических стержней. Полученные зависимости позволяют на стадии проектирования элементов конструкций в виде пластинок по коэффициенту формы подобрать пластинку необходимой формы с оптимальными геометрическими размерами. Приводятся иллюстрации, дающие представление об экстремальных свойствах коэффициента формы рассматриваемого подмножества областей.

Ключевые слова: плоские области (пластинки, сечения) с выпуклым контуром в виде частей круга, коэффициент формы области, изопериметрические свойства коэффициента формы.

Введение

Пластинки разнообразных форм с различными граничными условиями, испытывающие деформации изгиба, и сечения призматических стержней, испытывающие деформации кручения, широко распространены в строительстве в качестве несущих конструктивных элементов [1, 2, 3]. Одной из важных современных проблем в области строительной механики является разработка и развитие приближенных аналитических методов решения двумерных задач строительной механики, позволяющих с разумной точностью находить искомое решение рассматриваемых задач, в том числе с использованием двусторонних неравенств. Одним из таких методов является метод интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ), который активно развивается творческим коллективом архитектурно-строительного института Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева [4, ..., 11]. В основе этого метода лежат изопериметрические свойства коэффициента формы – интегральной геометрической характеристики области, численно характеризующей форму рассматриваемой области или определенного подмножества областей.

В настоящей статье рассмотрен класс областей, представляющих собой различные части круга. Этот класс областей выбран для исследования потому, что при использовании МИКФ одно из «опорных решений, а иногда и два решения, как правило, известны. Это позволяет строить интерполяционные зависимости, описывающие решения для некоторого подмножества областей, в котором основным аргументом является коэффициент формы.

Коэффициент формы представляет собой контурный интеграл [12]

$$K_{fa} = \oint_L \frac{ds}{h}, \quad (1)$$

где ds – элементарный участок контура некоторой двумерной области; h – перпендикуляр, опущенный из произвольной точки, называемой полюсом, на участок контура ds (рисунок 1).

Для областей с криволинейным контуром из выражения (1) имеем [12]:

$$K_{fa} = \oint_L \frac{ds}{h} = \int_0^{2\pi} \left(1 + \frac{r'^2}{r^2}\right) d\varphi, \quad (2)$$

где $r = r(\varphi)$ – полярное уравнение контура области с полюсом в точке «а». Для областей с полигональным контуром из выражения (1) нетрудно получить зависимость

$$K_{fa} = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{h_i} = \sum_{i=1}^n (\operatorname{ctg} \alpha_i + \operatorname{ctg} \beta_i), \quad (3)$$

где n – количество сторон многоугольника, а остальные обозначения указаны на рисунке 1. Для фигур с прямолинейными и криволинейными участками контура для определения коэффициента формы используют комбинации формул (2) и (3):

$$K_{fa} = \sum_{i=1}^m (\operatorname{ctg} \alpha_i + \operatorname{ctg} \beta_i) + \sum_{k=1}^k \int_0^{\varphi_k} \left(1 + \frac{r'^2}{r^2}\right) d\varphi, \quad (4)$$

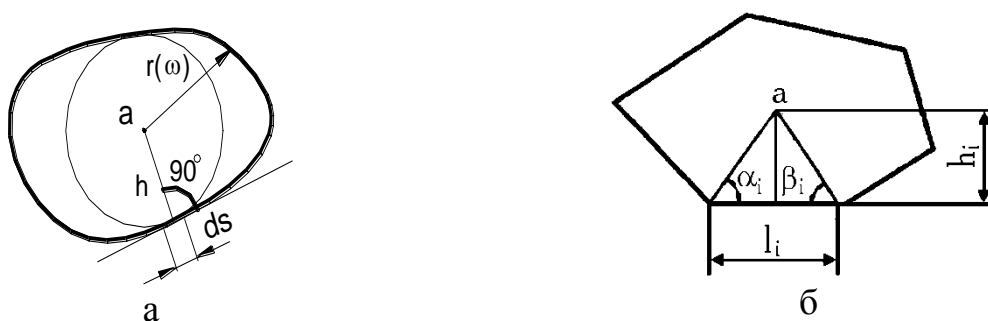


Рисунок 1 – К определению коэффициента формы произвольной области с выпуклым контуром: а) криволинейным, б) полигональным

Известно [12], что для выпуклой фигуры функции (2)...(4) имеют один глобальный экстремум, то есть $\min K_{fa} = K_f$. Именно это минимально возможное значение коэффициента формы будет находиться в настоящей работе, поскольку данное значение используется при исследовании конкретных задач строительной механики с помощью МИКФ.

1 Определение коэффициента формы для некоторых подмножеств областей

Фигуры, промежуточные между кругом и правильными многоугольниками (рис. 2)

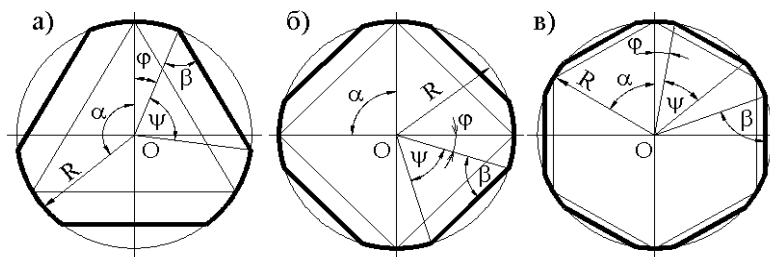


Рисунок 2 - Фигуры, промежуточные между кругом и правильными многоугольниками

Для таких фигур

$$K_f = 2n \left(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + \frac{\alpha}{2} - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (5)$$

Значения коэффициента формы, подсчитанные по формуле (5), приведены в таблице 1.

Круговой сектор с вершиной в центре окружности (рис. 3)

Для таких фигур

$$K_{fa} = 2 \left\{ \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + \operatorname{ctg} \beta + \frac{1}{\sin \gamma} \begin{cases} \pi/2, \varphi = 0 \\ \arctg(\sin \gamma \operatorname{tg} \varphi), \varphi < \pi/2 \\ \pi + \arctg(\sin \gamma \operatorname{tg} \varphi), \varphi > \pi/2 \end{cases} \right\}. \quad (6)$$

Таблица 1 – Значения K_f для областей, промежуточных между кругом и правильным n -угольником

№ п/п	$\varphi/2$	K_{f3}	K_{f4}	K_{f5}	K_{f6}	K_{f8}
1	0	6,28318	6,28318	6,28318	6,28318	6,28318
2	5	6,28452	6,28496	6,28541	6,28585	6,28674
3	10	6,29395	6,29754	6,30113	6,30471	6,31189
4	15	6,32008	6,33238	6,34468	6,35698	6,38158
5	20	6,37261	6,40242	6,43223	6,46204	6,52166
6	22,5	-	-	-	-	6,62742
7	25	6,46304	6,52299	6,58294	6,64289	-
8	30	6,60569	6,71320	6,78207	6,92820	-
9	35	6,81924	6,99792	7,17661	-	-
10	36	-	-	7,26543	-	-
11	40	7,12899	7,41093	-	-	-
12	45	7,57080	8	-	-	-
13	50	8,19772	-	-	-	-
14	55	9,08248	-	-	-	-
15	60	10,39230	-	-	-	-

Примечания:

1. Индекс при K_f означает число сторон правильного n -угольника.
2. Жирным шрифтом выделены значения K_f для правильных многоугольников и круга.

Таблица 2 – Значения коэффициента формы для областей в виде кругового сектора

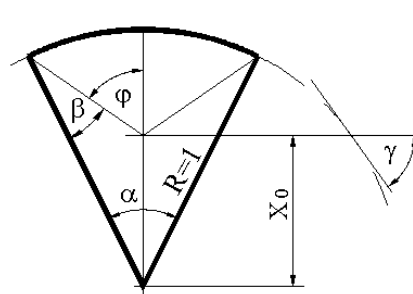
Схема области	α	x_o	K_f	α	x_o	K_f
	180	0,54341	8,79154	80	0,63342	8,29860
	179	0,54402	8,62678	70	0,65685	8,52270
	160	0,54609	8,48143	60	0,68453	8,88546
	150	0,54993	8,35581	50	0,71707	9,46876
	140	0,55535	8,25106	40	0,75560	10,43490
	130	0,56254	8,16926	30	0,80115	12,16680
	120	0,57189	8,11373	20	0,85555	15,80980
	110	0,58319	8,08947	10	0,92085	27,09320
	100	0,59709	8,10384	5	0,95848	49,92400
	90	0,61374	8,16791	0	1	∞
	Примечание – x_o – координата, обеспечивающая $\min K_{fa}$.					

Рисунок 3

Анализ полученных табличных данных показывает, что из всех круговых секторов с полюсом в центре круга наименьшее значение K_f имеет сектор с центральным углом $\alpha = 108,356^\circ$.

Круговой сектор с вершиной, расположенной на диаметре (рис. 4)

Для таких фигур:

$$K_{fa} = 2 \left\{ \operatorname{ctg} \frac{\psi}{2} + \operatorname{ctg} \beta + \frac{1}{\sin \gamma} \begin{cases} \pi/2, \varphi = 0 \\ \arctg(\sin \gamma \operatorname{tg} \varphi), \varphi < \pi/2 \\ \pi + \arctg(\sin \gamma \operatorname{tg} \varphi), \varphi > \pi/2 \end{cases} \right\}. \quad (7)$$

Значения коэффициента формы, подсчитанные по формуле (7), приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения K_f для круговых секторов с вершиной на диаметре окружности

$\alpha/2 \backslash \psi/2$	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
180	$\frac{2\pi}{0}$								
170	$\frac{6,2868}{0,0018}$								
160	$\frac{6,3124}{0,0139}$	$\frac{6,2903}{0,0033}$							
150	$\frac{6,3832}{0,0453}$	$\frac{6,3153}{0,0196}$							
140	$\frac{6,5207}{0,0998}$	$\frac{6,3824}{0,0558}$	$\frac{6,3407}{0,0245}$						
130	$\frac{6,7418}{0,1743}$	$\frac{6,5089}{0,1130}$	$\frac{6,4039}{0,0653}$						
120	$\frac{7,0604}{0,2614}$	$\frac{6,7078}{0,1872}$	$\frac{6,5204}{0,1249}$	$\frac{6,4769}{0,0743}$					
110	$\frac{7,4917}{0,3552}$	$\frac{6,9897}{0,2723}$	$\frac{6,7000}{0,2000}$	$\frac{6,5841}{0,1363}$					
100	$\frac{8,0575}{0,4503}$	$\frac{7,3666}{0,3634}$	$\frac{6,9511}{0,2844}$	$\frac{6,7467}{0,2127}$	$\frac{6,7453}{0,1486}$				
90	$\frac{8,7915}{0,5435}$	$\frac{7,8553}{0,4557}$	$\frac{7,2832}{0,3742}$	$\frac{6,9715}{0,2983}$	$\frac{6,8929}{0,2276}$				
80	$\frac{9,7468}{0,6315}$	$\frac{8,4814}{0,5461}$	$\frac{7,7098}{0,4653}$	$\frac{7,2661}{0,3885}$	$\frac{7,0948}{0,3148}$	$\frac{7,2232}{0,2451}$			
70	$\frac{11,009}{0,7128}$	$\frac{9,2844}{0,6326}$	$\frac{8,2511}{0,5554}$	$\frac{7,6415}{0,4807}$	$\frac{7,3572}{0,4081}$	$\frac{7,4047}{0,3372}$			
60	$\frac{12,725}{0,7860}$	$\frac{10,326}{0,7129}$	$\frac{8,9373}{0,6417}$	$\frac{8,1137}{0,5719}$	$\frac{7,6892}{0,5030}$	$\frac{7,6390}{0,4342}$	$\frac{8,0936}{0,3651}$		
50	$\frac{15,158}{0,8496}$	$\frac{11,708}{0,7857}$	$\frac{9,8155}{0,7224}$	$\frac{8,7071}{0,6598}$	$\frac{8,1038}{0,5971}$	$\frac{7,9333}{0,5337}$	$\frac{8,3026}{0,4690}$		
40	$\frac{18,842}{0,9029}$	$\frac{13,605}{0,8496}$	$\frac{10,961}{0,7962}$	$\frac{9,4586}{0,7427}$	$\frac{8,6210}{0,6887}$	$\frac{8,2986}{0,6334}$	$\frac{8,5636}{0,5762}$	$\frac{9,9215}{0,5162}$	
30	$\frac{25,019}{0,9450}$	$\frac{16,345}{0,9036}$	$\frac{12,498}{0,8618}$	$\frac{10,426}{0,8193}$	$\frac{9,2705}{0,7761}$	$\frac{8,7512}{0,7314}$	$\frac{8,8855}{0,6845}$	$\frac{10,152}{0,6346}$	
20	$\frac{37,431}{0,9754}$	$\frac{20,624}{0,9470}$	$\frac{14,658}{0,9180}$	$\frac{11,707}{0,8884}$	$\frac{10,099}{0,8578}$	$\frac{9,3157}{0,8259}$	$\frac{9,2818}{0,7921}$	$\frac{10,435}{0,7556}$	$\frac{15,563}{0,7155}$
10	$\frac{74,718}{0,9938}$	$\frac{28,245}{0,9793}$	$\frac{17,907}{0,9642}$	$\frac{13,475}{0,9487}$	$\frac{11,185}{0,9327}$	$\frac{10,031}{0,9157}$	$\frac{9,7733}{0,8975}$	$\frac{10,781}{0,8777}$	$\frac{15,810}{0,8556}$
0	$\frac{\infty}{1}$	$\frac{\infty}{1}$	$\frac{\infty}{1}$	$\frac{\infty}{1}$	$\frac{\infty}{1}$	$\frac{\infty}{1}$	$\frac{\infty}{1}$	$\frac{\infty}{1}$	$\frac{\infty}{1}$
Примечания. 1. В числителе дроби указаны значения K_f, в знаменателе - x_0.									

График изменения коэффициента формы кругового сектора в зависимости от угла при его вершине представлен на рисунке 5.

Анализ полученных табличных данных показывает:

- при значениях $\psi = \pi$ получаются круговые сегменты (колонка 2);
- при значениях $\psi = \alpha$ получаются круговые секторы с вершиной в центре окружности (результаты расположены по нисходящей диагонали и выделены жирным шрифтом);
- при $\psi = \text{const}$ с возрастанием угла α значения K_f монотонно возрастают;
- при $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ с возрастанием угла ψ значения K_f монотонно возрастают;
- для значений угла α в диапазоне $0 \leq \alpha \leq 180^\circ$ с возрастанием угла ψ значения K_f имеют экстремум (минимум).

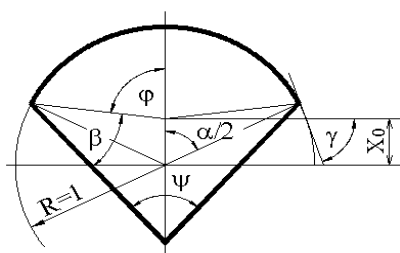


Рисунок 4

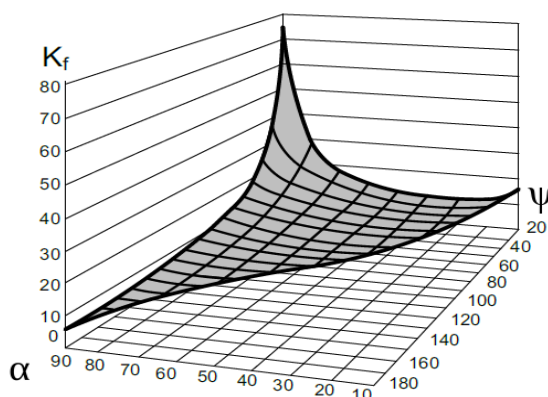


Рисунок 5

Усеченный круговой сектор с вершиной в центре окружности (рис. 6)

Для таких фигур:

$$K_{fa} = 2 \left\{ \sum_{i=1}^2 \text{ctg } \beta_i + \frac{1}{\sin \gamma} \begin{cases} \pi/2, \varphi = 0 \\ \arctg(\sin \gamma \text{tg } \varphi), \varphi < \pi/2 \\ \pi + \arctg(\sin \gamma \text{tg } \varphi), \varphi > \pi/2 \end{cases} \right\}. \quad (8)$$

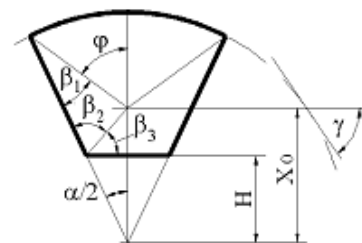


Рисунок 6

Минимальные значения K_{fa} , подсчитанные по формуле (8), приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения K_f для усеченных круговых секторов с вершиной в центре окружности

$\frac{h}{H}$ $\alpha/2$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
90	<u>8,7915</u> 0,5434										<u>8,7915</u> 0,5434
80	<u>8,4814</u> 0,5461			<u>8,3780</u> 0,5536				<u>9,0616</u> 0,5909			<u>9,7468</u> 0,6315

70	<u>8,2511</u> 0,5553		<u>8,2561</u> 0,5593		<u>8,4945</u> 0,5812		<u>9,0148</u> 0,6192		<u>9,8432</u> 0,6652		<u>11,009</u> 0,7128
60	<u>8,1137</u> 0,5719		<u>8,0400</u> 0,5744		<u>8,3261</u> 0,6044		<u>9,1100</u> 0,6591		<u>10,509</u> 0,7232		<u>12,725</u> 0,7860
50	<u>8,1038</u> 0,5909		<u>7,8833</u> 0,5957		<u>8,1199</u> 0,6290		<u>9,1065</u> 0,6964		<u>11,189</u> 0,7748		<u>15,158</u> 0,8496
40	<u>8,2985</u> 0,6334	<u>8,0372</u> 0,6274	<u>7,8500</u> 0,6262	<u>7,7805</u> 0,6410	<u>7,8881</u> 0,6548	<u>8,2410</u> 0,6878	<u>8,9148</u> 0,7291	<u>10,014</u> 0,7736	<u>11,720</u> 0,8185	<u>14,394</u> 0,8620	<u>18,842</u> 0,9029
30	<u>8,8855</u> 0,6845	<u>8,4660</u> 0,6764	<u>8,1015</u> 0,6709	<u>7,8332</u> 0,6720	<u>7,7311</u> 0,6854	<u>7,8973</u> 0,7147	<u>8,4632</u> 0,7563	<u>9,6233</u> 0,8040	<u>11,761</u> 0,8530	<u>15,825</u> 0,9005	<u>25,019</u> 0,9450
20	<u>10,435</u> 0,7556	<u>9,7606</u> 0,7469	<u>9,1145</u> 0,7386	<u>8,5220</u> 0,7325	<u>8,0356</u> 0,7329	<u>7,7587</u> 0,7478	<u>7,8688</u> 0,7808	<u>8,6531</u> 0,8267	<u>10,724</u> 0,8775	<u>16,054</u> 0,9280	<u>37,421</u> 0,9754
10	<u>15,810</u> 0,8556	<u>14,505</u> 0,8499	<u>13,203</u> 0,8417	<u>11,912</u> 0,8337	<u>10,648</u> 0,8254	<u>9,4492</u> 0,8195	<u>8,4231</u> 0,8235	<u>7,8417</u> 0,8487	<u>8,3556</u> 0,8930	<u>12,410</u> 0,9439	<u>74,718</u> 0,9938
5	<u>27,093</u> 0,9208	<u>24,617</u> 0,9170	<u>22,136</u> 0,9123	<u>19,650</u> 0,9070	<u>17,163</u> 0,9006	<u>14,683</u> 0,8930	<u>12,239</u> 0,8853	<u>9,9313</u> 0,8822	<u>8,1760</u> 0,9029	<u>8,7532</u> 0,9480	<u>149,38</u> 0,9984
0											$\frac{\infty}{1}$

Примечание: В числителе дроби указаны значения K_f , в знаменателе - x_0 .

На основе табличных данных построены графики изменения K_f для усеченных круговых секторов с вершиной в центре окружности (рисунок 7).

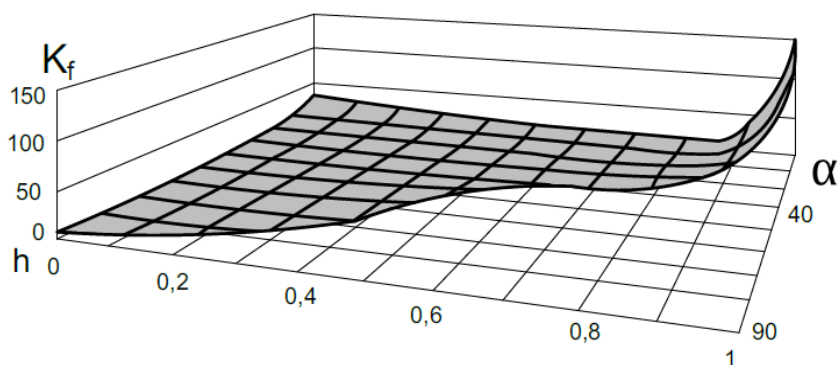


Рисунок 7

Анализ полученных табличных данных показывает:

- в колонке 2 расположены данные о круговых секторах, а в колонке 12 – о круговых сегментах;
- при $\alpha = \text{const}$ имеется такое отношение h/H , которому соответствует минимальное значение K_f ;
- при $h/H = \text{const}$ имеется такое значение угла α , которому соответствует минимальное значение K_f .

Усеченные круговые сегменты (рис. 8)

Для таких фигур

$$K_{fa} = 2 \left\{ \sum_{i=1}^2 \operatorname{ctg} \beta_i + \frac{\pi - \sum_{i=1}^2 \operatorname{arctg}(\sin \gamma \operatorname{ctg} \beta_i)}{\sin \gamma} \right\}. \quad (9)$$

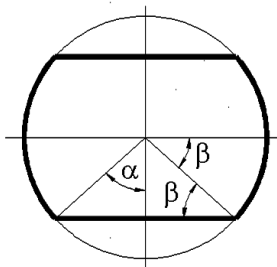


Рисунок 8

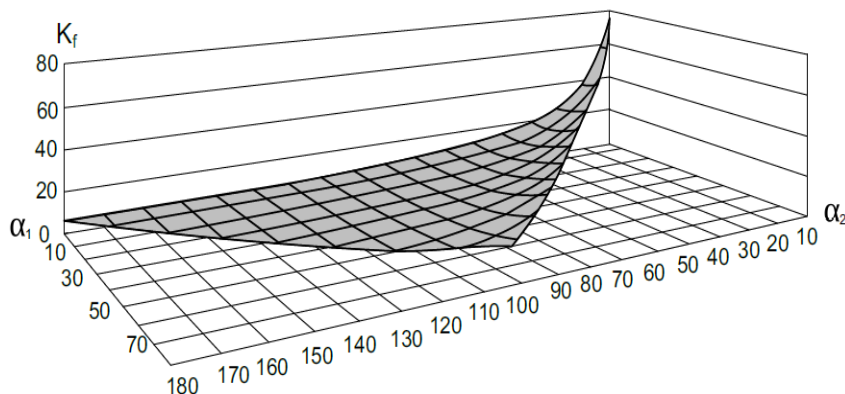


Рисунок 9

Минимальные значения коэффициента формы, подсчитанные по формуле (9), приведены в таблице 5.

На основе табличных данных построен график $K_f - \alpha$ для усеченных круговых сегментов (рисунок 9).

Анализ полученных табличных данных показывает:

- во втором столбце находятся значения K_f для неусеченных сегментов;
- по верхней нисходящей диагонали таблицы находятся данные для усеченных сегментов с двумя осями симметрии;
- при $\alpha_1 = \text{const}$ и уменьшении угла α_2 значения K_f монотонно возрастают;
- при $\alpha_2 = \text{const}$ и увеличении угла α_1 значения K_f монотонно возрастают.

Таблица 5 – Значения коэффициента формы для усеченных круговых сегментов

$\alpha_2/2 \backslash \alpha_1/2$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
180	$\frac{2\pi}{0}$									
170	$\frac{6,2868}{0,0017}$	$\frac{6,2904}{0}$								
160	$\frac{6,3124}{0,0139}$	$\frac{6,3161}{0,0121}$	$\frac{6,3428}{0}$							
150	$\frac{6,3832}{0,0453}$	$\frac{6,3873}{0,0432}$	$\frac{6,4167}{0,0316}$	$\frac{6,4982}{0}$						
140	$\frac{6,5207}{0,0998}$	$\frac{6,5255}{0,0981}$	$\frac{6,5604}{0,0858}$	$\frac{6,6573}{0,0543}$	$\frac{6,8471}{0}$					
130	$\frac{6,7418}{0,1743}$	$\frac{6,7480}{0,1723}$	$\frac{6,7923}{0,1596}$	$\frac{6,9156}{0,1267}$	$\frac{7,1581}{0,0720}$	$\frac{7,5595}{0}$				
120	$\frac{7,0604}{0,2614}$	$\frac{7,0687}{0,2595}$	$\frac{7,1284}{0,2456}$	$\frac{7,2945}{0,2110}$	$\frac{7,6221}{0,1544}$	$\frac{8,1700}{0,0817}$	$\frac{9,0226}{0}$			
110	$\frac{7,4917}{0,3552}$	$\frac{7,5034}{0,3531}$	$\frac{7,5877}{0,3379}$	$\frac{7,8223}{0,3007}$	$\frac{8,2859}{0,2417}$	$\frac{9,0716}{0,1679}$	$\frac{10,334}{0,0858}$	$\frac{12,386}{0}$		

100	$\frac{8,0575}{0,4503}$	$\frac{8,0748}{0,4478}$	$\frac{8,1993}{0,4311}$	$\frac{8,5451}{0,3909}$	$\frac{9,2311}{0,3295}$	$\frac{10,418}{0,2547}$	$\frac{12,419}{0,1726}$	$\frac{15,981}{0,0870}$	$\frac{23,383}{0}$	
90	$\frac{8,7915}{0,5435}$	$\frac{8,8182}{0,5403}$	$\frac{9,0105}{0,5216}$	$\frac{9,5437}{0,4781}$	$\frac{10,610}{0,4149}$	$\frac{12,526}{0,3397}$	$\frac{16,032}{0,2583}$	$\frac{23,340}{0,1736}$	$\frac{46,071}{0,0872}$	$\frac{\infty}{0}$
80	$\frac{9,7468}{0,6315}$	$\frac{9,7901}{0,6283}$	$\frac{10,103}{0,6067}$	$\frac{10,969}{0,5603}$	$\frac{12,739}{0,4960}$	$\frac{16,147}{0,4217}$	$\frac{23,453}{0,3419}$	$\frac{46,088}{0,1036}$	$\frac{\infty}{0,1736}$	
70	$\frac{11,009}{0,7128}$	$\frac{11,084}{0,7091}$	$\frac{11,626}{0,6848}$	$\frac{13,132}{0,6360}$	$\frac{16,364}{0,5720}$	$\frac{23,558}{0,4998}$	$\frac{46,126}{0,4226}$	$\frac{\infty}{0,3420}$		
60	$\frac{12,725}{0,7860}$	$\frac{12,867}{0,7814}$	$\frac{13,884}{0,7542}$	$\frac{16,770}{0,7044}$	$\frac{23,754}{0,6424}$	$\frac{46,198}{0,5736}$	$\frac{\infty}{0,5}$			
50	$\frac{15,158}{0,8496}$	$\frac{15,457}{0,8441}$	$\frac{17,598}{0,8142}$	$\frac{24,133}{0,7652}$	$\frac{46,331}{0,7071}$	$\frac{\infty}{0,6428}$				
40	$\frac{18,842}{0,9029}$	$\frac{19,582}{0,8960}$	$\frac{24,972}{0,8647}$	$\frac{46,605}{0,8191}$	$\frac{\infty}{0,7660}$					
30	$\frac{25,019}{0,9449}$	$\frac{27,383}{0,9365}$	$\frac{47,279}{0,9062}$	$\frac{\infty}{0,8660}$						
20	$\frac{37,421}{0,9754}$	$\frac{49,758}{0,9656}$	$\frac{\infty}{0,9397}$							
10	$\frac{74,717}{0,9938}$	$\frac{\infty}{0,9848}$								
0	$\frac{\infty}{0}$									

Примечания:

1 В числителе дроби находятся значения K_f , в знаменателе – x_0 .

2 Во втором столбце находятся данные для секторов с вершиной на окружности.

3 По верхней нисходящей диагонали находятся данные о круге; по нижней восходящей диагонали – данные о круге с двумя отсеченными сегментами, хорды которых параллельны.

Фигуры, образованные отсечением от круга двух одинаковых сегментов, хорды которых пересекаются на продолжении диаметра, являющегося осью симметрии

Для таких фигур (рис. 10):

$$K_{fa} = 2 \left\{ \sum_{i=1}^2 \operatorname{ctg} \beta_i + \frac{\operatorname{arctg}(\sin \gamma \operatorname{ctg} \varphi_i)}{\sin \gamma} \right\}. \quad (10)$$

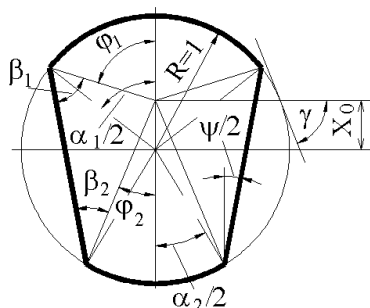


Рисунок 10

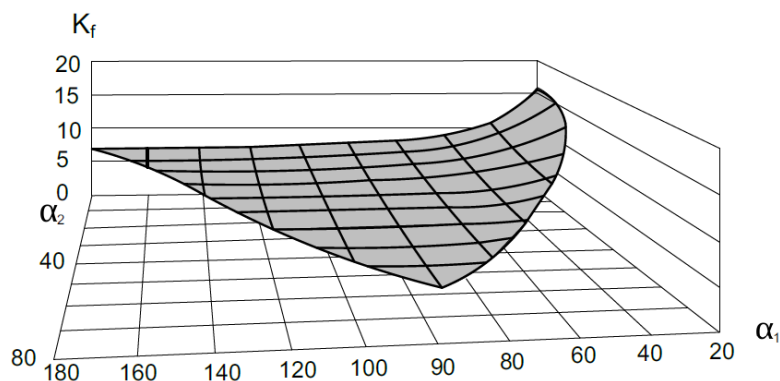


Рисунок 11

Минимальные значения коэффициента формы, подсчитанные по формуле (10), приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Значения коэффициента формы для фигур, образованных отсечением от круга двух одинаковых сегментов, хорды которых пересекаются на диаметре круга или на его продолжении

$\alpha_1/2 \backslash \alpha_2/2$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
180	$\frac{2\pi}{0}$									
160	$\frac{6,2903}{0,0032}$	$\frac{6,2841}{0,0007}$	$\frac{2\pi}{0}$							
140	$\frac{6,3407}{0,0250}$	$\frac{6,3074}{0,0104}$	$\frac{6,2903}{0,0031}$	$\frac{6,2841}{0,0002}$	$\frac{2\pi}{0}$					
120	$\frac{6,4769}{0,0743}$	$\frac{6,3966}{0,0430}$	$\frac{6,3413}{0,0210}$	$\frac{6,3076}{0,0082}$	$\frac{6,2904}{0,0022}$	$\frac{6,2841}{0,0004}$	$\frac{2\pi}{0}$			
100	$\frac{6,7453}{0,1486}$	$\frac{6,6006}{0,1009}$	$\frac{6,4851}{0,0609}$	$\frac{6,3997}{0,0322}$	$\frac{6,3422}{0,0144}$	$\frac{6,3077}{0,0052}$	$\frac{6,2904}{0,0013}$	$\frac{6,2841}{0,0002}$	$\frac{2\pi}{0}$	
90	$\frac{6,9506}{0,1941}$	$\frac{6,7665}{0,1390}$	$\frac{6,6117}{0,0894}$	$\frac{6,4898}{0,0505}$	$\frac{6,4013}{0,0246}$	$\frac{6,3425}{0,0097}$	$\frac{6,3078}{0,0031}$	$\frac{6,2904}{0,0005}$	$\frac{6,2841}{0,0001}$	$\frac{2\pi}{0}$
80	$\frac{7,2232}{0,2451}$	$\frac{6,9943}{0,1690}$	$\frac{6,7913}{0,1225}$	$\frac{6,6234}{0,0719}$	$\frac{6,4940}{0,0364}$	$\frac{6,4023}{0,0157}$	$\frac{6,3427}{0,0052}$	$\frac{6,3078}{0,0011}$	$\frac{6,2904}{0}$	
60	$\frac{8,0936}{0,3651}$	$\frac{7,7418}{0,2884}$	$\frac{7,4049}{0,2028}$	$\frac{7,0973}{0,1193}$	$\frac{6,8384}{0,0547}$	$\frac{6,6397}{0,0169}$	$\frac{6,4982}{0}$			
40	$\frac{9,9215}{0,5162}$	$\frac{9,3510}{0,4220}$	$\frac{8,7443}{0,2891}$	$\frac{8,1196}{0,1231}$	$\frac{7,5595}{0}$					
20	$\frac{15,563}{0,7155}$	$\frac{14,328}{0,5787}$	$\frac{12,386}{0}$							
0	$\frac{\infty}{0}$									

Примечание – В числителе дроби указаны значения K_f , в знаменателе x_0 .

На основе табличных данных строим график для фигур, образованных отсечением от круга двух одинаковых сегментов, хорды которых пересекаются на диаметре круга или на его продолжении (рисунок 11).

Анализ полученных табличных данных показывает:

- в колонке 2 находятся данные для секторов с вершиной, расположенной на окружности;
- по нисходящей диагонали находятся данные о круге; по восходящей диагонали – данные для фигур с параллельными хордами.

Несимметричные круговые луночки (рис. 12)

Для таких фигур

$$K_{fa} = 2 \left\{ \frac{\pi - \arctg(\sin \gamma_1 \operatorname{ctg} \beta)}{\sin \gamma_1} + \frac{\arctg(\sin \gamma_2 \operatorname{ctg} \beta)}{\sin \gamma_2} \right\}. \quad (11)$$

Минимальные значения коэффициента формы, подсчитанные по формуле (11), приведены в таблице 7.

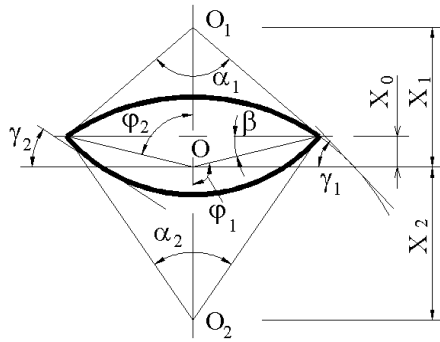


Рисунок 12

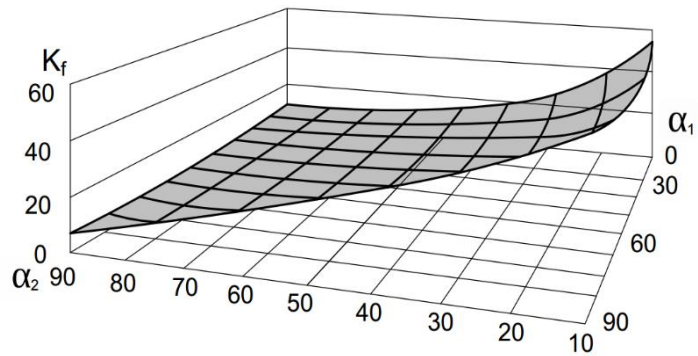


Рисунок 13

Таблица 7 – Значения коэффициента формы для несимметричных круговых луночек

$\alpha_2/2$ \ $\alpha_1/2$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
90	$\frac{2\pi}{0}$									
80	$\frac{6,3071}{0,0789}$	$\frac{6,3801}{0,1736}$								
70	$\frac{6,3789}{0,1469}$	$\frac{6,5043}{0,2407}$	$\frac{6,6864}{0,3420}$							
60	$\frac{6,4999}{0,2071}$	$\frac{6,6832}{0,3012}$	$\frac{6,9317}{0,4000}$	$\frac{7,2552}{0,5}$						
50	$\frac{6,6734}{0,2639}$	$\frac{6,9233}{0,3578}$	$\frac{7,2503}{0,4541}$	$\frac{7,6690}{0,5500}$	$\frac{8,2021}{0,6428}$					
40	$\frac{6,9063}{0,3191}$	$\frac{7,2353}{0,4124}$	$\frac{7,6582}{0,5061}$	$\frac{8,1968}{0,5978}$	$\frac{8,8847}{0,6851}$	$\frac{9,7749}{0,7660}$				
30	$\frac{7,2098}{0,3733}$	$\frac{7,6362}{0,4659}$	$\frac{8,1807}{0,5571}$	$\frac{8,8760}{0,6447}$	$\frac{9,7731}{0,7262}$	$\frac{10,955}{0,8005}$	$\frac{12,566}{0,8660}$			
20	$\frac{7,6021}{0,4283}$	$\frac{8,1530}{0,5196}$	$\frac{8,8582}{0,6080}$	$\frac{9,7679}{0,6909}$	$\frac{10,963}{0,7669}$	$\frac{12,582}{0,8343}$	$\frac{14,878}{0,8923}$	$\frac{18,371}{0,9397}$		
10	$\frac{8,1126}{0,4843}$	$\frac{8,8305}{0,5746}$	$\frac{9,7590}{0,6596}$	$\frac{10,980}{0,7378}$	$\frac{12,632}{0,8077}$	$\frac{14,965}{0,8682}$	$\frac{18,480}{0,9184}$	$\frac{24,352}{0,9575}$	$\frac{36,183}{0,9848}$	
0	$\frac{8,7915}{0,5435}$	$\frac{9,7468}{0,6315}$	$\frac{11,009}{0,7128}$	$\frac{12,725}{0,7860}$	$\frac{15,158}{0,8496}$	$\frac{18,842}{0,9029}$	$\frac{25,019}{0,9450}$	$\frac{37,421}{0,9754}$	$\frac{54,717}{0,9938}$	$\frac{\infty}{1}$

Примечание - В числителе дроби находятся значения K_f , в знаменателе - x_0

На основе табличных данных строим график для несимметричных луночек (рисунок 13).

Анализ полученных табличных данных показывает:

- по нисходящей диагонали находятся данные о симметричных круговых луночках;
- при $\alpha_1 = \text{const}$ и уменьшении угла α_2 значения коэффициента формы монотонно возрастают;
- при $\alpha_2 = \text{const}$ и увеличении угла α_1 значения коэффициента формы монотонно возрастают.

Фигуры, составленные из прямоугольника и двух равных сегментов, хорды которых совмещены с противоположными сторонами прямоугольника (рис. 14)

Для таких фигур

$$K_f = 4 \frac{\text{ctg} \varphi_0 + \arctg(\sin \gamma \text{tg} \varphi_0)}{\sin \alpha}. \quad (12)$$

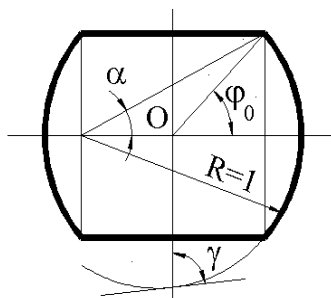


Рисунок 14

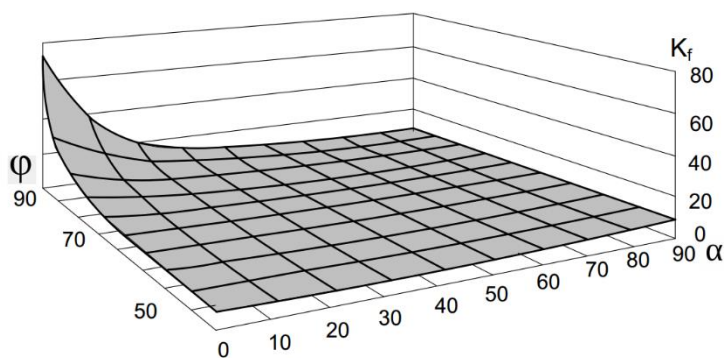


Рисунок 15

Минимальные значения коэффициента формы, подсчитанные по формуле (12), приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Значения коэффициента формы фигур, составленных из прямоугольника и двух равновеликих симметрично расположенных сегментов

$\alpha^\circ \backslash \varphi_0^\circ$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
90	2π	6,3801	6,6864	7,2552	8,2021	9,7749	12,566	18,371	36,183	72,091
85	6,3056	6,3056	6,4823	6,8630	7,5132	8,5682	10,319	13,484	20,418	28,075
80	6,3682	6,2904	6,3682	6,6128	7,0611	7,7914	8,9623	10,922	14,586	17,851
75	6,4672	6,3251	6,3225	6,4672	6,7710	7,2827	8,0945	9,3949	11,615	13,384
70	6,6019	6,4056	6,3428	6,4056	6,6019	6,9587	7,5316	8,4295	9,8810	10,962
65	6,7744	6,5313	6,4170	6,4170	6,5313	6,7744	7,1798	7,8135	8,8059	9,5145
60	6,9895	6,7057	6,5486	6,4982	6,5486	6,7056	6,9895	7,4405	8,1368	8,6211
55	7,2556	6,9358	6,7428	6,6517	6,6517	6,7428	6,9358	7,2556	7,7503	8,0895
50	7,5858	7,2339	7,0109	6,8869	6,8471	6,8869	7,0109	7,2339	7,5858	7,8262
45	8	7,6194	7,3717	7,2214	7,1503	7,1503	7,2214	7,3717	7,6194	7,7900

На основе табличных данных строим график для фигур, составленных из прямоугольника и двух равновеликих симметрично расположенных сегментов (рисунок 15).

Анализ полученных табличных данных показывает:

- при значении $\varphi_0 = 90^\circ$ получаются круговые симметричные луночки;
- при значении $\alpha = 90^\circ$ получаются овалы (второй столбец таблицы);
- при значениях $\varphi_0 = 90^\circ$ и $\alpha = 90^\circ$ овал превращается в окружность;
- при значениях $\alpha = 90^\circ$ и $45^\circ \leq \varphi_0 \leq 90^\circ$ овал превращается в прямоугольник.

Выводы

1. В статье приведены аналитические выражения для определения коэффициента формы для пластинок, представляющих собой фигуры в виде частей круга; определены минимальные значения коэффициентов формы фигур.
2. Построены графические зависимости коэффициента формы от углов, определяющих форму фигур в виде частей круга. Сформулированы основные выводы для каждого вида фигур.
3. Полученные зависимости позволяют на стадии проектирования элементов конструкций в виде пластинок по коэффициенту формы подобрать пластинку необходимой формы с оптимальными геометрическими размерами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Александров, А.В. Основы теории упругости и пластичности [Текст] / А.В. Александров, В.Д. Потапов. – М.: «Высшая школа», 1990. – 400 с.
- 2 Прочность, устойчивость, колебания: Справочник в трех томах [Текст] / Под общей редакцией И.А. Биргера и Я.Г. Пановко. – Т. 1. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1968, – 832 с.
- 3 Бояршинов, С.В. Основы строительной механики машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 456 с.
- 4 Муромский, А.С. Расчет треугольных пластинок с использованием аффинных преобразований [Текст] / А.С. Муромский, А.В. Коробко // Труды 55-й Международной научно-технической конференции молодых ученых (докторантов, аспирантов и студентов) «Актуальные проблемы современного строительства» (Санкт Петербург, 2001).
- 5 Гефель, В.В. Взаимосвязь задач поперечного изгиба и свободных колебаний треугольных пластинок [Текст] / Гефель, В.В., А.В. Коробко // Известия ОрелГТУ. Серия «Строительство». – 2006. – № 1-2. – С. 24-27.
- 6 Сенин, М.А. Взаимосвязь задач поперечного изгиба и свободных колебаний ромбических пластинок с помощью МИКФ [Текст] / М.А. Сенин, А.В. Коробко // Известия ОрелГТУ. Серия «Строительство. Транспорт». – 2008. – № 3. – С. 6-7.
- 8 Фетисова, М.А. Определение максимального прогиба трапециевидных пластинок с комбинированными граничными условиями [Текст] / М.А. Фетисова, Н.Г. Калашникова // Известия ОрелГТУ. Серия «Строительство. Транспорт». – 2009. – № 1. – С. 65-67.
- 9 Савин, С.Ю. Расчет ортотропных пластин в виде правильных многоугольников с однородными граничными условиями [Текст] / С.Ю. Савин, В.И. Коробко // Строительство и реконструкция. – 2011. – № 1. – С. 3-11.
- 10 Савин, С.Ю. Изгиб ортотропных пластинок в виде параллелограмма с однородными и комбинированными граничными условиями [Текст] / Савин, С.Ю., В.И. Коробко, // Строительная механика и расчет сооружений. – 2012. – № 2. – С. 18-23.
- 11 Коробко, А.В. Определение максимального прогиба ромбических пластинок с комбинированными граничными условиями с использованием отношения конформных радиусов [Текст] / А.В. Коробко, А.А. Черняев // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2011. – №4. – С. 21-25.
- 12 Коробко, В.И. Количественная оценка симметрии [Текст] / В.И. Коробко, А.В. Коробко // Издательство АСВ. – 2008. – С. 126.

Коробко Андрей Викторович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел
доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая механика и инженерная графика»
Тел.: +7 (4862) 73-43-49
E-mail: ankor.66@mail.ru

Шляхов Станислав Владимирович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел
аспирант кафедры «Строительные конструкции и материалы»
Тел.: +7 (4862) 73-43-49
E-mail: shlyakhov.stas@mail.ru

Лыгина Юлия Евгеньевна

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел
аспирант кафедры «Строительные конструкции и материалы»
Тел.: +7 (4862) 73-43-49
E-mail: jbalikhina@gmail.com

A.V. KOROBKO, S.V. SHLYAKHOV, Y.E. LYGINA

**DETERMINATION OF THE SHAPE FACTOR OF THE PLATES,
REPRESENTING THE FIGURES IN THE FORM OF PARTS OF A CIRCLE**

The article provides information about the shape factor of the flat areas with a convex contour in the form of portions of circle (sectors, segments, etc.), the formulas for calculating the shape factor of such areas, and investigated their isoperimetric properties and regularities of changes in a variety of geometric transformations. Indicates that the received data can be effectively used in the development

of geometric methods for solving problems of structural mechanics and, in particular, problems of technical theory of plates and torsion of prismatic rods. Provides illustrations showing the extreme properties of the shape factor of the considered subset of the areas.

Keywords: flat region (plates, sections) with a convex contour in the form of parts of a circle, the shape factor of the region, isoperimetric properties of the shape factor.

REFERENCES

- 1 Aleksandrov, A.V. Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti [Tekst] / A.V. Aleksandrov, V.D. Pota-pov. – M.: «Vysshaya shkola», 1990. – 400 s.
- 2 Prochnost', ustoychivost', kolebaniya: Spravochnik v trekh tomakh [Tekst] / Pod obshchey redaktsiyey I.A. Birgera i YA.G. Panovko. – T. 1. – M.: Izd-vo «Mashinostroyeniye, 1968, – 832 s.
- 3 Boyarshinov, S.V. Osnovy stroitel'noy mekhaniki mashin. – M.: Mashinostroyeniye, 1973. – 456 s.
4. Muromskiy, A.S. Raschet treugol'nykh plastinok s ispol'zovaniyem affinnykh preobrazovaniy [Tekst] / A.S. Muromskiy, A.V. Korobko // Trudy 55-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molo-dykh uchenykh (doktorantov, aspirantov i studentov) «Aktual'nyye problemy sovremennogo stroitel'stva» (Sankt Peterburg, 2001).
5. Gefel', V.V. Vzaimosvyaz' zadach poperechnogo izgiba i svobodnykh kolebaniy treugol'nykh plastinok [Tekst] / Gefel', V.V., A.V. Korobko // Izvestiya OrelGTU. Seriya «Stroitel'stvo». – 2006. – № 1-2. – S. 24-27.
6. Senin, M.A. Vzaimosvyaz' zadach poperechnogo izgiba i svobodnykh kolebaniy rombicheskikh plastinok s pomoshch'yu MIKF [Tekst] / M.A. Senin, A.V. Korobko // Izvestiya OrelGTU. Seriya «Stroitel'stvo. Trans-port». – 2008. – № 3. – S. 6-7.
8. Fetisova, M.A. Opredeleniye maksimal'nogo progiba trapetsiyevidnykh plastinok s kombinirovannymi granichnymi usloviyami [Tekst] / M.A. Fetisova, N.G. Kalashnikova // Izvestiya OrelGTU. Seriya «Stroi-tel'stvo. Transport». – 2009. – № 1. – S. 65-67.
9. Savin, S.YU. Raschet ortotropnykh plastin v vide pravil'nykh mnogougol'nikov s odnorodnymi granichnymi usloviyami [Tekst] / S.YU. Savin, V.I. Korobko // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2011. – № 1. – S. 3-11.
10. Savin, S.YU. Izgib ortotropnykh plastinok v vide parallelogramma s odnorodnymi i kombiniro-vannymi granichnymi usloviyami [Tekst] / Savin, S.YU., V.I. Korobko, // Stroitel'naya mekhanika i raschet so-oruzheniy. – 2012. – № 2. – S. 18-23.
11. Korobko, A.V. Opredeleniye maksimal'nogo progiba rombicheskikh plastinok s kombinirovannymi granichnymi usloviyami s ispol'zovaniyem otnosheniya konformnykh radiusov [Tekst] / A.V. Korobko, A.A. Chernya-yev // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy. – 2011. – №4. – S. 21-25.
12. Korobko, V.I. Kolichestvennaya otsenka simmetrii [Tekst] / V.I. Korobko, A.V. Korobko // Izdatel'-stvo ASV. – 2008. – S. 126.

A.V. Korobko

Orel State university, Orel

Doctor of technical sciences, professor of the department «Theoretical and applied mechanics»

Ph.: +7 (4862) 43-58-94

E-mail: ankor.66@mail.ru

S.V. Shlyakhov

Orel State university, Orel

graduate student of the department «Building designs and materials»

Ph.: +7 (4862) 73-43-49

E-mail: shlyakhov.stas@mail.ru

Y.E. Lygina

Orel State university, Orel

graduate student of the department «Building designs and materials»

Ph.: +7 (4862) 73-43-49

E-mail: jbalikhina@gmail.com

УДК 620.179:624.042

КОРОБКО В.И., КАЛАШНИКОВА Н.Г., КАЛАШНИКОВА О.В.

КОНТРОЛЬ ЖЕСТКОСТИ УПРУГИХ ПЛАСТИНОК С ПОМОЩЬЮ ВИБРАЦИОННОГО МЕТОДА

В статье построена аналитическая зависимость для произведения квадрата частоты собственных колебаний пластин в ненагруженном состоянии на статический прогиб от внешней равномерно распределенной по поверхности нагрузки ($w_0\omega^2$). Анализ полученной зависимости показывает, что значение коэффициента пропорциональности в произведении $w_0\omega^2$ для заданного вида пластинок с выпуклым контуром и комбинированными граничными условиями (любая комбинация шарнирного опирания и жесткого защемления по контуру) есть величина постоянная. Построена функциональная зависимость «максимальный прогиб – основная частота колебаний» для упругих изотропных пластинок произвольного вида с выпуклым контуром и комбинированными граничными условиями. Предложен метод определения максимального прогиба натурных конструкций в виде пластинок, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой, по основной частоте колебаний пластинок-моделей в ненагруженном состоянии, полученной экспериментально. Приводятся примеры использования предложенного метода.

Ключевые слова: упругие пластинки произвольного вида, комбинированные граничные условия, взаимосвязь максимального прогиба и основной частоты колебаний.

Введение

Жесткость конструкций в виде изгибаемых упругих пластинок с различными граничными условиями является одним из важнейших физических параметров, который контролируется при их изготовлении и эксплуатации. Обычно при этом применяется способ испытания моделей на поперечный изгиб с соблюдением требований геометрического и физико-механического подобия [1, 2], который трудно осуществить из-за сложности моделирования граничных условий. Общие вопросы геометрического и физико-механического подобия в задачах прочности и динамики конструкций рассматривались в работах [3, 4, 5].

Обычно задачи статики и динамики при физико-механическом моделировании строительных конструкций рассматриваются отдельно [6, ..., 9]. В предлагаемой статье эти два вида деформации пластинок рассматриваются во взаимосвязи.

Метод

Профессором В.И. Коробко в работе [4] была установлена фундаментальная закономерность в строительной механике, сущность которой заключается в следующем:

– для упругих изотропных пластинок произвольной формы и постоянной жесткости независимо от вида граничных условий произведение максимального статического прогиба w_0 от действия равномерно распределенной нагрузки q на квадрат их основной (круговой) частоты колебаний в ненагруженном состоянии ω^2 ограничено с двух сторон: верхняя граница этого произведения с точностью до размерного множителя равна $(4/\pi)^2$ и соответствует круглым пластинкам, а нижняя граница равна $4/\pi$ и соответствует бесконечно вытянутым пластинкам (балкам):

$$4/\pi \times q/m \leq w_0\omega^2 \leq (4/\pi)^2 \times q/m; \quad (1)$$

– для пластинок одинаковой формы независимо от вида граничных условий произведение $w_0\omega^2$ с точностью до размерного множителя есть величина постоянная:

$$w_0\omega^2 = \text{const} \times q/m. \quad (2)$$

В выражениях (1) и (2) m – масса единицы площади для пластинок и погонная масса для ба-

лок. Закономерности (1) и (2) графически представлены на рисунке 1, где по оси абсцисс отложена обратная величина коэффициента формы области K_f , который определяется контурным интегралом

$$K_f = \min_L \oint ds / h, \quad (3)$$

где ds – элемент контура пластинки; L – периметр контура; h – высота, опущенная из полюса, взятого внутри области, на касательную к переменной точке контура пластинки. Эта геометрическая величина характеризует степень «правильности» (симметричности) плоской фигуры с выпуклым контуром. Подробные сведения о коэффициенте формы и его изопериметрических свойствах приведены в монографии [5].

Точка 0 на графике (рис. 1) соответствует круглым пластинкам, точка 4 – квадратным, точка 3 – пластинкам в виде правильного треугольника, а точка пересечения кривой с осью ординат – бесконечно вытянутым пластинкам (балкам). Уравнение этой кривой, полученное путем регрессионного анализа известных решений задач поперечного изгиба и колебаний пластинок различного вида и с разнообразными граничными условиями, приводимых в справочной и научной литературе по теории пластинок [10, ..., 12], имеет следующий вид:

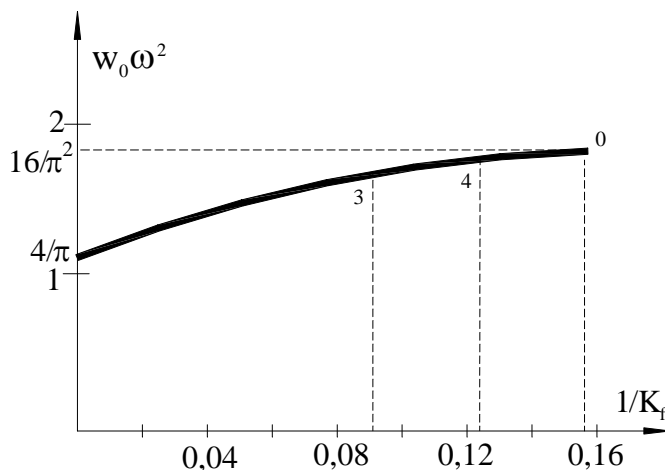


Рисунок 1 – Зависимость $w_0 \omega^2 - 1/K_f$

$$w_0 \omega^2 = \left[\frac{4}{\pi} + \frac{10,502}{K_f} - \frac{34,511}{K_f^{1,5}} + \frac{33,420}{K_f^2} \right] \times \frac{q}{m} = K(K_f) \times \frac{q}{m}. \quad (4)$$

С помощью этой зависимости можно найти величину коэффициента пропорциональности в выражении (2) для пластинок любой формы и с любыми граничными условиями. Для этого достаточно подсчитать значение коэффициента формы заданной пластинки.

Зависимости (2) и (4) свидетельствуют о наличии функциональной связи между интегральными параметрами w_0 и ω в задачах поперечного изгиба и свободных колебаний пластинок, и её можно аналитически описать без использования коэффициента формы. Путем регрессионного анализа результатов известных решений была построена аппроксимирующая функция

$$w_0 = \left(1,877 \times 10^3 - 4,006 \times 10^5 \beta^2 + 2,312 \times 10^7 \beta^4 - \frac{0,296}{\beta^3} + \frac{2,429}{\beta^4} \right) \frac{qA^2}{D}, \quad (5)$$

где β – коэффициент пропорциональности в аналитическом представлении общего решения задачи о свободных колебаниях пластинок $\omega = \beta^2 \sqrt{D/m}/A$; A – площадь пластинки; D – цилиндрическая жесткость, которая находится из известных соотношений технической теории пластинок [10, 11]. Определение максимального прогиба пластинок по известной частоте колебаний функция (5) дает погрешность, не превышающую 3%. Графически эта зависимость представлена на рисунке 2, где по оси ординат откладывается величина коэффициента пропорциональности при w_0 , а по оси абсцисс величина β^2 .

Используя аналитические зависимости (4) и (5), можно существенно упростить способы оценки жесткости конструкций в виде пластинок с помощью вибрационного метода, определяя значение коэффициента пропорциональности не по результатам испытаний конструкций-эталонов, а аналитически по формуле (5).

Положим, что пластинка-модель изготовлена с соблюдением условий геометрического подобия и подобия граничных условий. Запишем в общем виде аналитические выражения для определения максимального прогиба натурной пластинки и основной частоты колебаний ее модели:

$$w_0 = \alpha \frac{qA^2}{D}; \quad \omega_m = \beta^2 \frac{\sqrt{D_m/m_m}}{A_m},$$

где α и β^2 – коэффициенты пропорциональности, зависящие от формы пластинки и вида граничных условий; индекс «м» соответствует физико-механическим и геометрическим параметрам пластинки-модели. Подставляя эти формулы в выражение (4), можно записать:

$$w_0 = \alpha \beta^4 \frac{q}{m_m} \frac{D_m}{D} \frac{A^2}{A_m^2} \left/ \omega_m^2 \right. = K(K_f) \frac{q}{m_m} \frac{D_m}{D} \frac{A^2}{A_m^2} \left/ \omega_m^2 \right. . \quad (6)$$

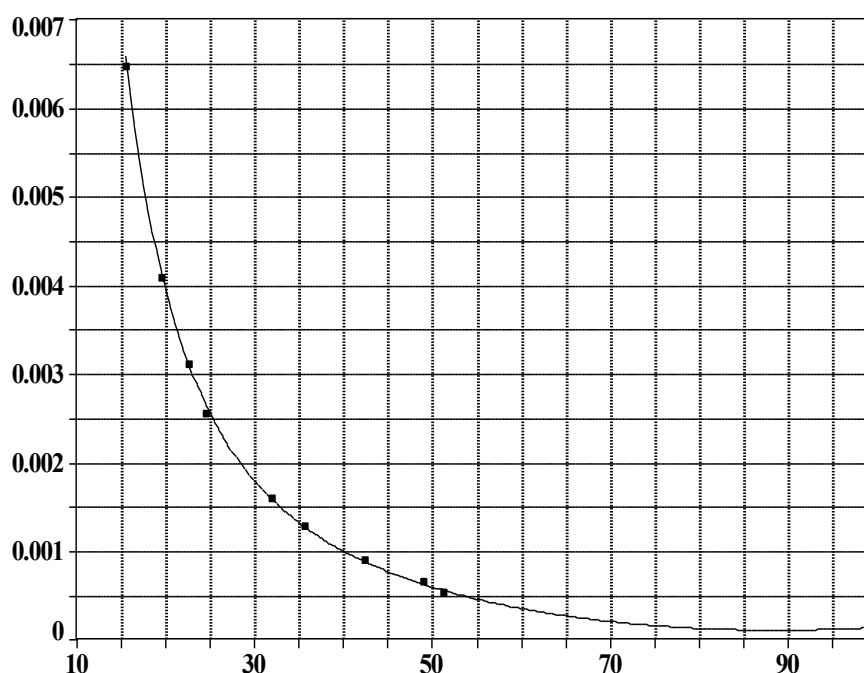


Рисунок 2 – Зависимость $w_0 - \omega$ для пластинок с известными точными решениями

Зная форму пластинки, из выражения (4) можно найти величину коэффициента пропорциональности $K(K_f)$. Возбуждаем в пластинке-модели колебания на наименьшей резонансной частоте и измеряем ее. Подставляя в формулу (6) эти значения, а также остальные исходные физические и геометрические параметры, определяем максимальный прогиб натурной пластинки.

Результаты экспериментов

Пример 1. Определить максимальный прогиб шарнирно опертой ромбической пластинки из углеродистой стали, находящейся под действием равномерно распределенной нагрузки интенсивностью $q = 0,32 \text{ МН/м}^2$, при следующих заданных геометрических и физи-

ко-механических параметрах: острый угол ромба $\varphi = 50^\circ$ ($K_f = 8/\sin 50^\circ = 10,443$ [9]), длина стороны $a = 100$ см ($A = 7660,45$ см²), толщина $H = 2$ см, плотность $\rho = 7,8$ кг/дм³ ($m = 1,56$ кг/дм²), модуль упругости $E = 2 \times 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,28$ ($D = 144675,9$ Нм).

Была изготовлена геометрически подобная пластинка-модель из прокатного дюралюминия: $a_m = 10$ см ($A_m = 76,605$ см²), $H_m = 0,2$ см, $\rho_m = 2,71$ кг/дм³ ($m_m = 0,0542$ кг/дм²), $E_m = 0,71 \times 10^5$ МПа, $\nu_m = 0,34$ ($D_m = 53,52$ Нм). С помощью динамических испытаний модели с шарнирно опертыми краями в ненагруженном состоянии была определена ее резонансная частота колебаний $f_m = 507,40$ Гц.

Для заданного ромба находим по формуле (4) величину $K(K_f) = 1,563$. Подставляя это значение $K(K_f)$, исходные данные и результаты экспериментов в формулу (6), получим:

$$w_0 = 1,563 \frac{0,32}{0,0542 \cdot 9,81 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{53,52}{144675,9} \cdot \frac{7660,45^2}{76,605^2} \Big/ (2\pi \cdot 507,4)^2 = 0,00342 \text{ м.}$$

Путем статического нагружения заданной пластинки равномерно распределенной нагрузкой $q_c = 0,32$ МН/м² был зафиксирован максимальный прогиб $w_0 = 3,62$ мм, который отличается от полученного с помощью предлагаемого способа на 5,52 %.

Рассмотренный способ можно реализовать иначе. Запишем в общем виде аналитические выражения для определения максимального прогиба натурной пластинки и пластинки-модели:

$$w_0 = \alpha \frac{qA^2}{D}; \quad (w_0)_m = \alpha_m \frac{q_m A_m^2}{D_m}.$$

Из этих выражений с учетом очевидного равенства $\alpha = \alpha_m$ найдем:

$$w_0 = (w_0)_m \frac{q}{q_m} \frac{D_m}{D} \frac{A^2}{A_m^2}. \quad (7)$$

При реализации этого способа по основной (резонансной) частоте колебаний модели с помощью выражения (5) находят величину ее максимального прогиба $(w_0)_m$ от действия равномерно распределенной нагрузки q_m , и далее по формуле (7) определяют w_0 .

Структура и вид выражения (7) соответствуют классическому результату при моделировании поперечного изгиба пластинок [1]. Отличие заключается в том, что в нашем случае величину $(w_0)_m$ определяют не экспериментально, а аналитически по основной частоте колебаний модели. Положив условно, что $q = q_m$, получим:

$$w_0 = (w_0)_m \frac{D_m}{D} \frac{A^2}{A_m^2}. \quad (8)$$

Пример реализации этого способа приведен в монографии [13].

Выводы

1 Построена аналитическая зависимость $w_0 \omega^2 - 1/K_f$ из которой следует, что значение коэффициента пропорциональности в произведении $w_0 \omega^2$ для заданного вида пластинок с выпуклым контуром и комбинированными граничными условиями (любая комбинация шарнирного опирания и жесткого защемления по контуру) есть величина постоянная.

2 Путем регрессионного анализа результатов известных решений, приводимых в научной и справочной литературе, построена аппроксимирующая функция $w_0 - \omega$, удовлетворяющая с погрешностью (5...6)% всему множеству пластинок с выпуклым контуром и произвольными граничными условиями.

3 Предложены два способа определения жесткости упругих изотропных пластинок по результатам динамических испытания моделей. Приведен пример реализации одного из этих способов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Седов, Л.И. Методы подобия и размерностей в механике [Текст] / Л.И. Седов. – М.: Наука, 1981. – 447 с.
- 2 Кирпичев, В.Л. Беседы о механике [Текст] / В.Л. Кирпичев. – М.-Л.: ГИТТЛ, 1951. – 360 с.
- 3 Белов, Н.Н. Математическое моделирование динамической прочности конструкционных материалов. Учебное пособие. [Текст] / Н.Н. Белов, Д.Г. Копаница, Н.Т. Югов. – М.: АСВ, 2013. – 562 с.
- 4 Коробко, В.И.. Изопериметрический метод в строительной механике: Теоретические основы изопериметрического метода [Текст] / В.И. Коробко. – Т. 1. – М.: Изд-во АСВ, 1997. – 396 с.
- 5 Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости [Текст] / А.В. Коробко. – М.: Изд-во АСВ, 1999. – 302 с.
- 6 Савин, С.Ю. Решение задачи о свободных колебаниях ортотропной пластинки методом интерполяции по коэффициенту формы [Текст] / С.Ю. Савин // ПГС. – 2014. – №2. – С. 19-22.
- 7 Савин, С.Ю. Развитие МИКФ к деформационному расчету упругих ортотропных пластинок в задачах поперечного изгиба [Текст] / С.Ю. Савин // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2014. – №10. – Р. 123-233.
- 8 Черняев, А.А. Динамический расчет правильных n-угольных, треугольных и ромбических шарнирно опертых пластинок с использованием отношения конформных радиусов в качестве геометрического аргумента [Текст] / А.А. Черняев // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2012. - № 2.- С. 63-71.
- 9 Черняев А.А. Геометрическое моделирование пластинчатых конструкций из условия жесткости [Текст] / А.А. Черняев. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2012. – V. 8. Issue 4. Р. 66-77.
- 10 Коробко, В.И. Строительная механика пластинок: Техническая теория [Текст] / В.И. Коробко, А.В. Коробко. – М.: «Издательский дом «Спектр», 2010. – 409 с.
- 11 Тимошенко, С.П. Пластины и оболочки [Текст] / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М.: Госматиздат, 1963. – 635 с.
- 12 Гонткевич, В.С. Собственные колебания пластинок и оболочек [Текст] / В.С. Гонткевич. – Киев: Наукова думка, 1964. – 282 с.
- 13 Коробко, В.И. Контроль качества строительных конструкций: Виброакустические технологии [Текст] / В.И. Коробко, А.В. Коробко. – М.: АСВ, 2003. – 288 с.

Коробко Виктор Иванович

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции и материалы»
Тел.: +7 (4862) 73-43-95
E-mail: center_epb@mail.ru

Калашникова Наталья Григорьевна

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Мехатроника, механика и робототехника»
Тел.: +7 9051661064
E-mail: center_epb@mail.ru

Калашникова Ольга Владимировна

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел
Кандидат технических наук, специалист учебного управления
Тел.: +7 9202850945
E-mail: center_epb@mail.ru

V.I. KOROBKO, N.G. KALASHNIKOVA, O.V. KALASHNIKOVA

STIFFNESS CONTROL OF ELASTIC PLATES ON THE BASIS OF THE VIBRATION METHOD

An analytical dependence is constructed for the product of the square of the natural frequency of the plates in an unloaded state on the static deflection from an external uniformly distributed load ($w_0\omega^2$). Analysis of the dependence obtained shows that the value of the proportionality coefficient in the product $w_0\omega^2$ for a given type of plate with a convex contour and combined boundary conditions (any combination of hinged support and rigid pinching along the contour) is constant. Functional de-

pendence «maximum deflection – vibration fundamental frequency» for elastically isotropic plates of random form with convex contour and combined boundary conditions (any combination of hinge support and rigid contoured fixing) is set up. We suggest the method of determination of maximum deflection of full-scale structures in the form of uniformly loaded plates, by vibration fundamental frequency of plates-models in unloaded state obtained experimentally. Examples of application of the proposed method.

Key words: *elastically isotropic plates of random form and convex support contour, combination of hinge support and rigid contoured fixing, interconnection of maximum deflection and vibration fundamental frequency.*

REFERENCES

- 1 Sedov, L.I. Metody podobiya i razmernostey v mekhanike [Tekst] / L.I. Sedov. – M.: Nauka, 1981. – 447 s.
- 2 Kirpichev, V.L. Besedy o mekhanike [Tekst] / V.L. Kirpichev. – M-L.: GITTL, 1951. – 360 s.
- 3 Belov, N.N. Matematicheskoye modelirovaniye dinamicheskoy prochnosti konstruksionnykh materia-lov. Uchebnoye posobiye. [Tekst] / N.N. Belov, D.G. Kopanitsa, N.T. Yugov. – M.: ASV, 2013. – 562 s.
- 4 Korobko, V.I. Izoperimetricheskyy metod v stroitel'noy mekhanike: Teoreticheskiye osnovy izoperimetricheskogo metoda [Tekst] / V.I. Korobko. – T. 1. – M.: Izd-vo ASV, 1997. – 396 s.
- 5 Korobko, A.V. Geometricheskoye modelirovaniye formy oblasti v dvumernykh zadachakh teorii upru-gosti [Tekst] / A.V. Korobko. – M.: Izd-vo ASV, 1999. – 302 s.
- 6 Savin, S.YU. Resheniye zadachi o svobodnykh kolebaniyakh ortotropnoy plastinki metodom interpo-lyatsii po koeffitsiyentu formy [Tekst] / S.YU. Savin // PGS. – 2014. – №2. – S. 19-22.
- 7 Savin, S.YU. Razvitiye MIF k deformatsionnomu raschetu uprugikh ortotropnykh platinok v zadachakh poperechnogo izgiba [Tekst] / S.YU. Savin // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2014. – №10. – P. 123-233.
- 8 Chernyayev, A.A. Dinamicheskyy raschet pravil'nykh n-ugol'nykh, treugol'nykh i rombicheskikh sharnir-no oper-tykh platinok s ispol'zovaniyem otnosheniya konformnykh radiusov v kachestve geometricheskogo argu-menta [Tekst] / A.A. Chernyayev // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy. – 2012. – № 2.- S. 63-71.
- 9 Chernyayev A.A. Geometricheskoye modelirovaniye platinchatykh konstruksiy iz kslaviya zhestkosti [Tekst] / A.A. Chernyayev. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2012. – V. 8. Issue 4. P. 66-77.
- 10 Korobko, V.I. Stroitel'naya mekhanika platinok: Tekhnicheskaya teoriya [Tekst] / V.I. Korobko, A.V. Korobko. – M.: «Izdatel'skiy dom «Spektr», 2010. – 409 s.
- 11 Timoshenko, S.P. Platiniki i obolochki [Tekst] / S.P. Timoshenko, S. Voynovskiy-Kriger. – M.: Gosmatizdat, 1963. – 635 s.
- 12 Gontkevich, V.S. Sobstvennyye kolebaniya platinok i obolochek [Tekst] / V.S. Gontkevich. – Kiyev: Naukova dumka, 1964. – 282 s.
- 13 Korobko, V.I. Kontrol' kachestva stroitel'nykh konstruksiy: Vibroakusticheskiye tekhnologii [Tekst] / V.I. Korobko, A.V. Korobko. – M.: ASV, 2003. – 288 s.

V.I. Korobko

Orel State University, Orel

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Building Constructions and Materials"

Tel .: +7 (4862) 73-43-95

E-mail: center_epb@mail.ru

N.G. Kalashnikova

Orel State University, Orel

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechatronics, Mechanics and Robotics

Tel .: +7 9051661064

E-mail: center_epb@mail.ru

O.V. Kalashnikova

Orel State University, Orel

Candidate of Technical Sciences, Specialist of Educational Management

Tel .: +7 9202850945

E-mail: center_epb@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ПОЛЯ ВОЛН ЛЯВА ПО АКСЕЛЕРОГРАММЕ

Настоящая статья является продолжением работы о моделировании поля сейсмических волн по заданной акселерограмме. Алгоритм, основанный на разложении исходной акселерограммы в ряд Фурье, применяется к моделированию поля волн Лява. Однако, есть обстоятельства, усложняющие построение пространственного волнового поля. Поверхностные волны Лява возникают в упругой среде, состоящей из слоя, лежащего на более жестком полупространстве. Волны Лява дисперсионные, то есть их фазовая скорость зависит от частоты; более того, одной частоте могут соответствовать несколько волн с различными скоростями. В работе приводится анализ зависимости корней дисперсионного уравнения (фазовой скорости) от частоты и толщины слоя, получены расчетные формулы для моделирования процесса распространения волн Лява. Исходная акселерограмма представляется в виде совокупности гармонических волн. Для каждой частоты акселерограммы определяются фазовые скорости волны Лява первого порядка. Результатом моделирования являются ускорения горизонтального движения частиц грунта в любой точке слоя и упругого полупространства. Приводится пример расчета поля ускорений по акселерограмме горизонтального движения землетрясения в Газли (14 мая 1976 г., 2048 точек, длительность 13.48 с).

Ключевые слова: *поверхностные сейсмические волны, волна Лява, фазовая скорость волны Лява, дисперсия волны Лява, поле сейсмических ускорений, акселерограмма, слоистая среда*

При решении задач теории сейсмостойкости по дифференцированной схеме [1] необходимы методики моделирования пространственно-временных сейсмических полей. Алгоритм моделирования пространственно-временного поля волн Рэлея, соответствующего граничным условиям в виде акселерограммы, заданной в одной точке, был описан в работе [2]; в настоящей работе этот же алгоритм применяется для моделирования процесса распространения поверхностных волн Лява. Причины возникновения и механизм распространения волн Лява изучены для монохроматических волн [1, 3, 4]. Однако алгоритм построения полей волн Лява по акселерограмме, заданной в одной точке поля пока, по-видимому, не был известен. Ниже приведено решение этой задачи.

Рассмотрим двухслойное полупространство, состоящее из жесткого подстилающего полупространства и более мягкого верхнего слоя высотой H . Обозначим E^* , G^* , ν^* , ρ^* - модули упругости и сдвига, коэффициент Пуассона и плотность нижнего полупространства; E , G , ν , ρ - модули упругости и сдвига, коэффициент Пуассона и плотность верхнего слоя, H - высота слоя. Фазовая скорость c_2 объемных S-волн, распространяющихся в упругой среде, равна $c_2 = \sqrt{G/\rho}$.

А.Е.Ляв [4] показал, что если поверхностный слой имеет меньшую жесткость по сравнению с подстилающим полупространством, в нем могут возникать поверхностные волны (волны Лява) с конфигурацией, изображенной на рис.1.

Волновое движение будем описывать в осях $Ox_1x_2x_3$ (рис.1). Допустим, одиночная гармоническая волна Лява распространяется в направлении оси Ox_1 с угловой частотой ω и фазовой скоростью c_L . Период, длина и волновое число волны равны $T = \frac{2\pi}{\omega}$, $\lambda = \frac{2\pi c_L}{\omega}$ и

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$. Под действием волны Лява происходят горизонтальные смещения частиц грунта u_2 (рис.1) в направлении Ox_2 .

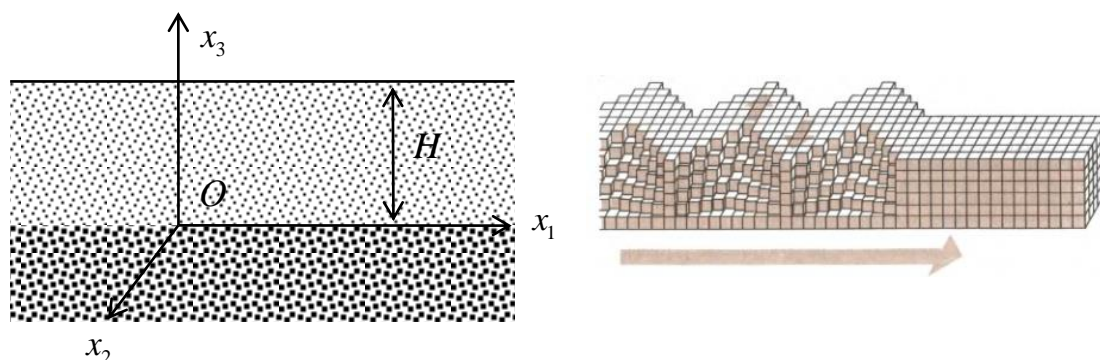


Рисунок 1 - Поверхностная волна Лява (справа рисунок из [5])

Волновое уравнение такой волны имеет вид [4, 6]:

$$\frac{\partial^2 X_2(x_1, x_3, t)}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 X_2(x_1, x_3, t)}{\partial x_3^2} = \frac{1}{c_2} \frac{\partial^2 X_2(x_1, x_3, t)}{\partial t^2}.$$

Задача распространения волн Лява имеет известное решение. Для одиночной гармонической волны Лява [1, 4, 6] в верхнем слое ($0 \leq x_3 \leq H$)

$$X_2(x_1, x_3, t) = (A \sin(k\beta x_3) + B \cos(k\beta x_3)) \exp(-ik(c_L t - x_1)), \quad (1)$$

в подстилающем полупространстве ($-\infty \leq x_3 \leq 0$)

$$X_2^*(x_1, x_3, t) = C \exp(k\beta^* x_3) \exp(-ik(c_L t - x_1)), \quad (2)$$

где c_L - фазовая скорость волны Лява, $k = \frac{\omega}{c_L}$ - волновое число,

$$\beta^2 = \left(\frac{c_L}{c_2}\right)^2 - 1, \quad (\beta^*)^2 = 1 - \left(\frac{c_L}{c_2^*}\right)^2. \quad (3)$$

Так как β и β^* действительные числа, фазовая скорость c_L лежит в пределах $c_2 \leq c_L \leq c_2^*$. Функции (1) и (2) должны удовлетворять следующим граничным условиям:

- 1) $X_2 = X_2^*$ при $x_3 = 0$, откуда следует, что $B = C$;
- 2) $\sigma_{23} = \sigma_{23}^*$ при $x_3 = 0$, откуда $A/C = (G^* \beta^*) / (G \beta)$;
- 3) $\sigma_{23} = 0$ при $x_3 = H$, откуда $A \cos(k\beta H) - B \sin(k\beta H) = 0$.

Условие 3) с учетом 1) и 2) дает дисперсионное уравнение, корни которого определяют скорость волны Лява:

$$(G^*\beta^*)/(G\beta)\cos(k\beta H) - \sin(k\beta H) = 0. \quad (4)$$

Из граничных условий следует, что функции (1), (2) зависят от одной постоянной C :

$$X_2(x_1, x_3, t) = C(\cos(k\beta x_3) + \tan(k\beta x_3)\sin(k\beta x_3))\exp(-ik(c_L t - x_1)),$$

$$X_2^*(x_1, x_3, t) = C\exp(k\beta^* x_3)\exp(-ik(c_L t - x_1)),$$

Ускорения частиц грунта найдем, дважды продифференцировав по времени функции X_2 и X_2^* : для верхнего слоя ($0 \leq x_3 \leq H$) получим

$$\ddot{X}_2(x_1, x_3, t) = Ck^2 c_L^2 (\cos(k\beta x_3) + \tan(k\beta x_3)\sin(k\beta x_3))\exp(-ik(c_L t - x_1)), \quad (5)$$

для подстилающего полупространства ($-\infty \leq x_3 \leq 0$)

$$\ddot{X}_2^*(x_1, x_3, t) = Ck^2 c_L^2 \exp(k\beta^* x_3)\exp(-ik(c_L t - x_1)). \quad (6)$$

Константа C определяется из дополнительных граничных условий. Как видно из (5) и (6), волны Лява не меняют свою амплитуду по высоте поверхностного слоя, а в полупространстве затухают, так как $k\beta^* x_3 < 0$.

Фазовая скорость волны Лява c_L равна решению дисперсионного уравнения (3) и зависит не только от свойств упругих сред, но и от волнового числа $k = \omega/c_L$. Таким образом, волны Лява обладают дисперсией*. Решение дисперсионного уравнения достаточно полно аналитически исследовано в [1,6]. Показано, что дисперсионное уравнение может иметь несколько действительных корней в зависимости от толщины верхнего слоя H , частоты ω , механических характеристик слоев грунта. Таким образом, на одной частоте может существовать несколько монохроматических волн (по числу корней уравнения (4)) с различными скоростями распространения. Первому корню соответствует волна первого порядка (или номера), второму – второго порядка, и т.д. Часто волной Лява считают только волну первого порядка [6].

Рассмотрим пример решения уравнения для конкретных грунтовых условий:

верхний слой толщиной $H=20$ м – песок, $E=37$ МПа, $G=14$ МПа, $\nu=0.3$, $\rho=1650$ кг/м³, $c_2=92.87$ м/с; подстилающее полупространство – крупнообломочный грунт, $E^*=100$ МПа, $G^*=38$ МПа, $\nu^*=0.3$, $\rho^*=1800$ кг/м³, $c_2^*=146.18$ м/с. Решения дисперсионного уравнения при изменении частоты от 15 до 100 рад/с для слоя $H=20$ м приведены в табл.1; там же показаны соответствующие длины волн. На частотах примерно до 15 рад/с уравнение (4) корней не имеет, и волны Лява не возникают. С увеличением частоты возрастает количество корней: в диапазоне 40-50 рад/с их два, при 60-70 рад/с – три, при 80-90 рад/с – четыре, при 100 рад/с – уже пять.

Рассмотрим подробнее уравнение (4); корни которого показаны на рис. 2 в осях $k\beta H$ и $D(k\beta H)$, где $D(k\beta H) = (G^*\beta^*)/(G\beta)\cos(k\beta H) - \sin(k\beta H)$.

Свойства уравнения (4) на отрезке $c_2 \leq c_L \leq c_2^*$ (что соответствует $k\beta(c_2)H < k\beta(c_L)H \leq k\beta(c_2^*)H$):

* Для волн без дисперсии фазовая скорость не зависит от волнового числа (частоты) и является константой.

1) имеет одну особую точку при $c_L = c_2$ $k\beta(c_2)H=0$, здесь $k\beta^*H$ достигает своего максимального значения;

2) при $c_L = c_2^*$ $k\beta^*H = 0$;

3) $D(k\beta H)$ - убывающая функция, поскольку при $k\beta H \rightarrow k\beta(c_2^*)H$ функция $(G^*\beta^*)/(G\beta)$ убывает в силу свойств 1) и 2);

4) при $c_2^* \gg c_2$ решение вблизи c_2 в основном определяется первым членом уравнения (4), так как $(G^*\beta^*)/(G\beta) \gg 1$; вблизи c_2^* решение определяют оба члена уравнения (4).

Таблица 1 - Скорости и длины волн Лява при различных частотах, $H=20$ м

Ω , рад/с (f , Гц)	c_{L1} , м/с (λ_1 , м)	c_{L2} , м/с (λ_2 , м)	c_{L3} , м/с (λ_3 , м)	c_{L4} , м/с (λ_4 , м)	c_{L5} , м/с (λ_5 , м)
15 (2.4)	121.43 (50.6)	133.11(21.17)	-	-	-
20 (3.2)	102.28 (32.0)	-	-	-	-
30 (4.8)	96.28 (20.0)	-	-	-	-
40 (6.4)	94.65 (14.8)	115.60 (18.1)	-	-	-
50 (8.0)	93.98 (11.7)	104.75 (13.1)	-	-	-
60 (9.6)	93.62 (9.7)	100.40 (10.5)	121.90 (12.7)	-	-
70 (11.1)	93.42 (8.4)	98.15 (8.8)	110.70 (10.0)	-	-
80 (12.7)	93.28 (7.3)	96.78 (7.6)	105.32 (8.3)	125.36 (9.9)	-
90 (14.3)	93.19 (6.5)	95.90 (6.7)	102.20 (7.14)	114.85 (8.0)	-
100 (15.9)	93.13 (5.9)	95.27 (6.0)	100.13 (6.3)	109.14 (6.9)	127.50 (8.0)

$D(k\beta H)$

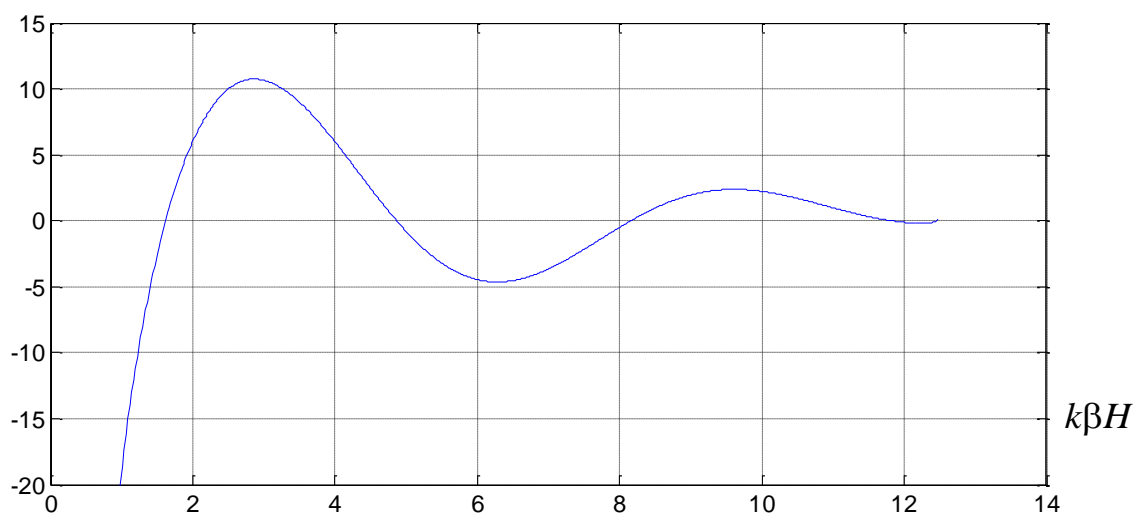


Рисунок 2 - Корни дисперсионного уравнения (5 корней) $\Omega=15$ рад/с, $H=100$ м

На основании свойства 4) можно найти начальные приближения к корням и максимально возможное количество корней дисперсионного уравнения. Начальное приближение $c_L^{(n+1)}$ к $(n+1)$ корню при условии, что $\cos(k\beta(c_L)H)=0$, равно $k\beta(c_L)H = \frac{\pi}{2} + \pi n$, $0 \leq n \leq n_r$, откуда

$$c_L^{(n+1)} = \frac{c_2 \omega H}{\sqrt{\omega^2 H^2 - c_2^2 \left(\frac{\pi}{2} + \pi n \right)^2}}. \quad (7)$$

Это приближение будет тем точнее, чем ближе корень к c_2 .

Примерное количество корней уравнения (4) можно определить из условия $k\beta(c_2^*)H = \frac{\pi}{2} + \pi n_r$. Максимально возможное количество корней дисперсионного уравнения равно

$$n_r = \left\lceil \frac{\omega H}{\pi c_2^*} \sqrt{\left(\frac{c_2^*}{c_2} \right)^2 - 1} - \frac{1}{2} \right\rceil + 1, \quad (8)$$

где $\lceil n \rceil$ - округление в большую сторону числа n . Значение n_r равно числу полуволин косинуса, входящего в $D(k\beta H)$. Так как в конце интервала возрастает роль второго слагаемого в уравнении (4), корней может быть больше, чем получается по выражению в скобках в (8). Анализ функции $D(k\beta H)$ для приведенных выше данных, показал, что может появиться один дополнительный корень, близкий к $k\beta(c_2^*)H$, поэтому в (8) добавлена единица. Таким образом, формула (8) дает оценку сверху для количества корней (см. табл.2). Если значение n_r отрицательное, корней у дисперсионного уравнения нет, и волны Лява не возникают.

В таблице 2 приведены корни уравнения (4) для $\omega = 15$ рад/с ($f = 2.4$ с⁻¹) при варьируемой толщине слоя H ; в скобках указаны соответствующие найденным скоростям длины волн $\lambda = c_L / f$. Во втором столбце табл.2 даны значения n_r , рассчитанные по формуле (8). Допустим, $\omega = 15$ рад/с, $H = 100$ м, $c_2 = 92.87$ м/с, тогда по формуле (8) $n_r = 5$; начальные приближения для пяти корней дисперсионного уравнения по формуле (7) равны: $c_L^{(1)} = 93.31$ м/с ($n = 0$), $c_L^{(2)} = 97.09$ м/с ($n = 1$), $c_L^{(3)} = 106.28$ м/с ($n = 2$), $c_L^{(4)} = 126.78$ м/с ($n = 3$), $c_L^{(5)} = 192.03$ м/с ($n = 4$). Эти значения особенно близки к своим корням в начале интервала (табл.2) и могут быть приняты за исходные значения для их уточнения. Для последнего корня в качестве начального приближения лучше взять c_2^* .

Таблица 2 - Скорости и длины волн Лява при толщинах H , $\omega = 15$ рад/с, $f = 2.4$ Гц

H , м	n_r	c_{L1} , м/с, (λ_1 , м)	c_{L2} , м/с (λ_2 , м)	c_{L3} , м/с (λ_3 , м)	c_{L4} , м/с (λ_4 , м)	c_{L5} , м/с (λ_5 , м)
20	2	121.43(50.6)	133.11(21.17)	-	-	
30	2	99.73 (41.5)	-	-	-	
40	3	96.28 (40.1)	-	-	-	
50	3	94.93 (39.5)	121.89(50.8)	-	-	
60	3	94.25 (39.3)	108.70(45.3)	-	-	
70	4	93.87 (39.1)	103.35(43.1)	-	-	
80	4	93.61 (39.0)	100.40(41.8)	121.9 (50.8)	-	
90	5	93.45(38.9)	98.62 (41.1)	112.55(46.9)	-	
100	5	93.34 (39.0)	97.4 (40.6)	107.56(44.8)	136.45(57.0)	146.02(60.8)

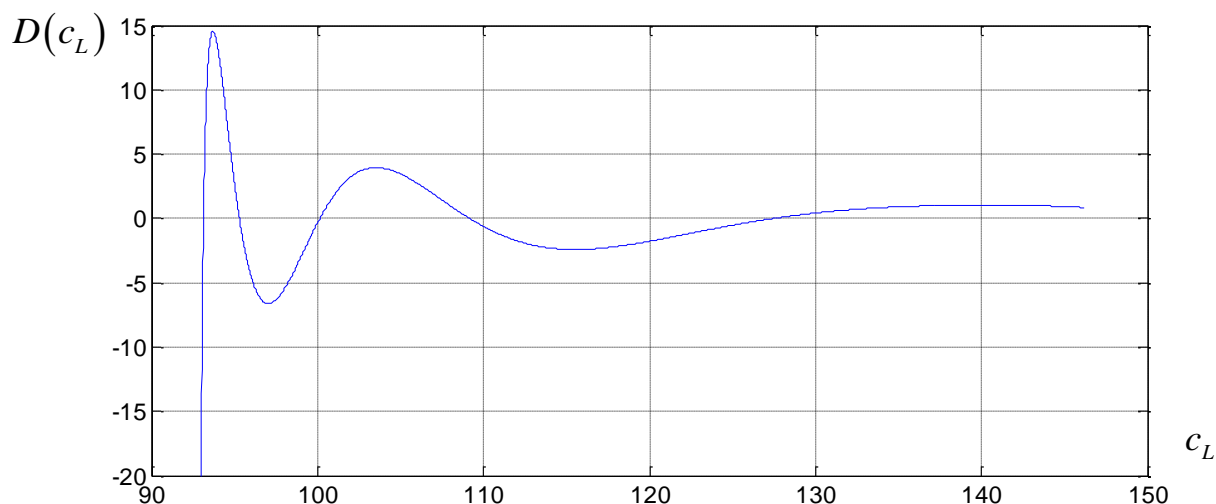


Рисунок 3 - Корни дисперсионного уравнения (5 корней) $\omega = 100$ рад/с, $H = 20$ м

По результатам расчета корней дисперсионного уравнения в табл. 1 и 2 видно, что с увеличением частоты и с ростом толщины слоя увеличивается количество корней уравнения (4), рис.3,4. Интересно, что если толщина слоя H очень велика, в композиции волн Лява преобладают волны со скоростью, близкой к c_2 (рис.4). На скорость волн в тонком слое, очевидно, в большей степени влияют свойства упругого полупространства; это особенно заметно для низких частот (см. расчет для $H = 20$ м в табл.1 для 15 и 100 рад/с). Отметим, что при описанных условиях в слое толщиной менее 20 м дисперсионное уравнение не имеет корней, и волны Лява не возникают.

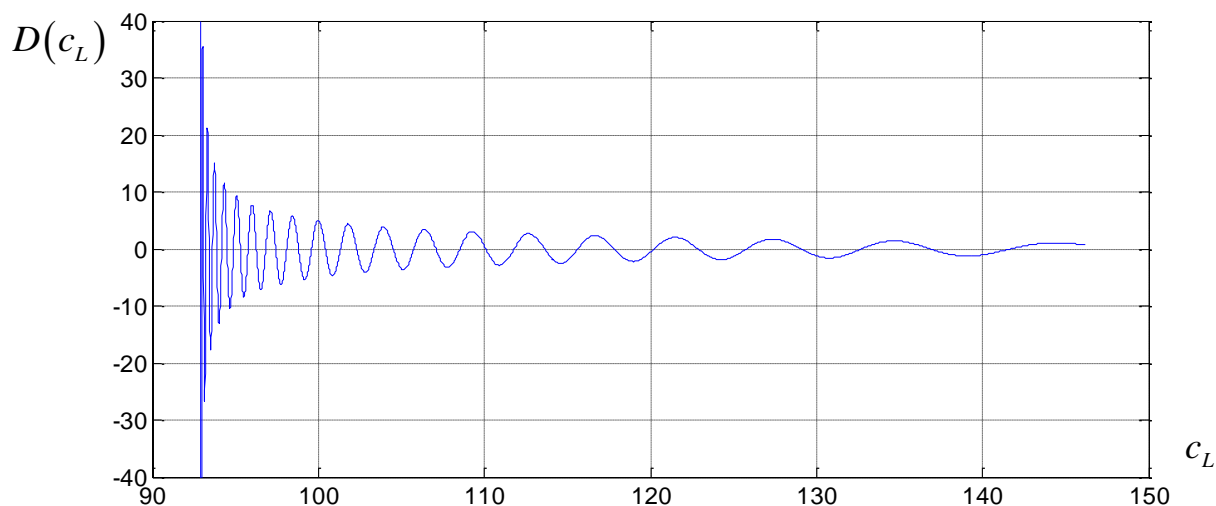


Рисунок 4 - Корни дисперсионного уравнения (40 корней) для $\omega = 15$ рад/с, $H = 1000$ м

При решении прикладных задач для сокращения времени вычислений желательно отфильтровать компоненты воздействия, не несущие большой опасности для сооружений. Короткие волны не так опасны для конструкций, как воздействие с длинами волн, сравнимыми с типичным размером фундамента. Кроме того, сама конструкция является «фильтром», уси-

ливающим те спектральные компоненты воздействия (особенно на низких частотах), которые близки или совпадают с её собственными частотами. Поэтому высокочастотные составляющие из спектра воздействия можно удалить, проведя их фильтрацию. Можно отфильтровать и те низкочастотные компоненты воздействия, при которых волны Лява не возникают. Из формулы (7) следует, что для существования волны Лява по меньшей мере необходимо, чтобы $\omega > c_2\pi/H$; для $c_2=92.87$ м/с и $H=20$ м эта граничная частота равна 7.29 рад/с. На рис.4 показаны исходная и отфильтрованная акселерограммы Газлийского землетрясения (14 мая 1976 г., направление E-W), в которой оставлены составляющие с частотами $7.29 \leq \omega \leq 15$ (рад/с). Характеристики исходной записи: длительность 13.4815 с, 2048 точек, время отсчета 0.006586 с, частотный диапазон $0.233 \leq \omega \leq 477$ рад/с.

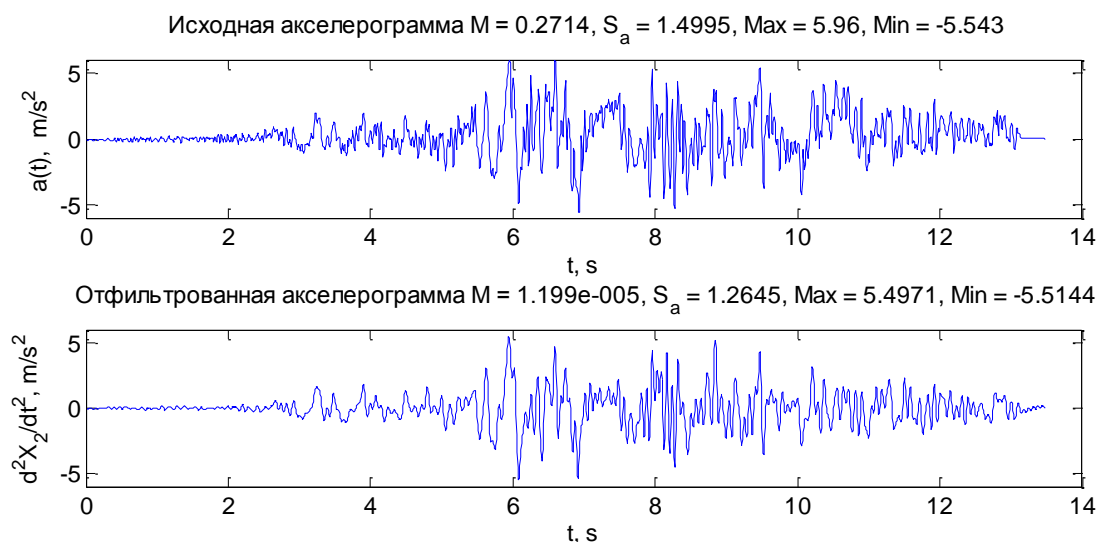


Рисунок 5 - Акселерограмма до и после фильтрации частот (над графиками указаны среднее значение, стандарт, максимальное и минимальное значения)

Сейсмическое воздействие представляет собой спектр гармонических волн. Каждая отдельно выделенная волна из этого спектра может рассматриваться как граничное условие для формирования пространственно-временного поля волн Лява с определенной частотой. Сложность заключается в том, что на этой частоте, возможно, существует не одна волна, а целая композиция волн Лява, по числу корней дисперсионного уравнения. Все волны композиции удовлетворяют волновому уравнению, граничным условиям и могут существовать одновременно и вносить свой вклад в общее волновое движение. Они имеют одинаковую частоту и различные фазовые скорости. В условиях, когда известна только одна спектральная амплитуда воздействия, отвечающая конкретной частоте, определить вклад каждой волны в композицию, по-видимому, невозможно. Другими словами, амплитуда каждой такой волны остается неопределенной, известна лишь суммарная спектральная амплитуда всей композиции. По одному граничному условию найти амплитуды всех волн, составляющих композицию, невозможно; очевидно, необходимо несколько граничных условий в разных точках грунта (по числу корней дисперсионного уравнения), чтобы «зацепить» составляющие волны Лява с одной частотой, но с разными скоростями и найти их амплитуды. Однако обычно расчетные сейсмологические данные включают запись землетрясения в одной точке. Поэтому в прикладных задачах рассматривают только одну, самую «медленную» волну Лява первого порядка, которая имеет ту же спектральную амплитуду, что и воздействие на заданной частоте.

Зависимость скорости волн Лява первого порядка для частот отфильтрованного спектра воздействия землетрясения в Газли (рис.5) показана на рис.6. Видно, что для самых низ-

ких частот воздействия фазовая скорость волн Лява первого порядка близка к c_2^* , для более высоких частот — к c_2 .

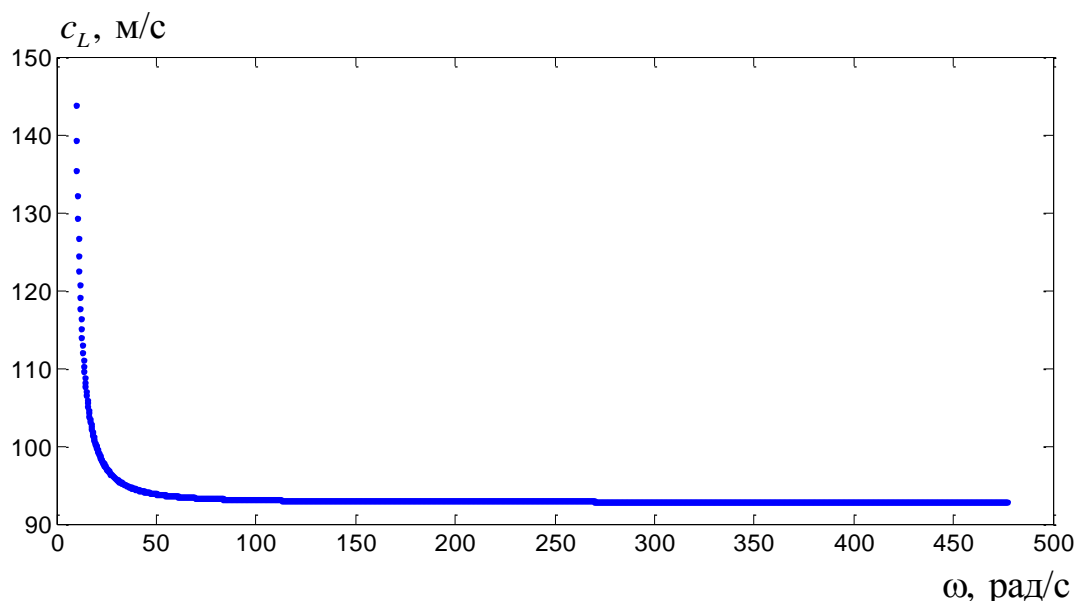


Рисунок 6 - Скорости волн Лява первого порядка в зависимости от частоты ω , $H=20$ м

Алгоритм формирования пространственно-временного поля волн Лява первого порядка не отличается от алгоритма, предложенного и подробно описанного в [2], кроме, конечно, предварительного определения фазовой скорости волны Лява для каждой частоты. Если частоте ω_n воздействия соответствует спектральная амплитуда A_n , то постоянная в (5) и (6) будет равна

$$C_n = \frac{A_n}{k_n^2 c_{L(n)}^2 \left(\cos(k_n \beta_n H) + \tan(k_n \beta_n H) \sin(k_n \beta_n H) \right)},$$

где $c_{L(n)}$ - фазовая скорость волны Лява первого порядка для частоты ω_n , $k_n = \omega_n / c_{L(n)}$ - волновое число, $\beta_n = \beta_n(c_{L(n)})$. Заметим, что хорошее приближение первого корня уравнения (4) дает формула (7). Суммируя составляющие для частот воздействия, получим решение в любой точке пространства, подробно см. в [2]. На рис. 7. и 8 показаны процессы распространения волны Лява в различных точках поверхности слоя и в полупространстве, над графиками указаны координата точки, среднее значение, стандарт, максимальное и минимальное значения акселерограммы. Интенсивность воздействия снижается по мере движения волны, что соответствует дисперсионному характеру волн Лява. На рис. 8 видно заметное затухание волны Лява с глубиной.

Предложенный алгоритм может быть полезен для проверочных расчетов по дифференцированной схеме протяженных в плане сооружений. Отметим, что описанный метод имеет некоторые ограничения: при сильных землетрясениях может произойти пластическое деформирование грунта, так что грунтовое основание при таких условиях нельзя считать упругой средой. Кроме того, в классической задаче распространения волн в слоистых средах предполагается идеальная горизонтальная граница разделения двух сред. Если это не так, то можно предложить такой подход: область пространства разбивается на зоны, где границу можно приблизительно считать горизонтальной. В каждой такой зоне строится свое решение с учетом условий стыковки по границам.

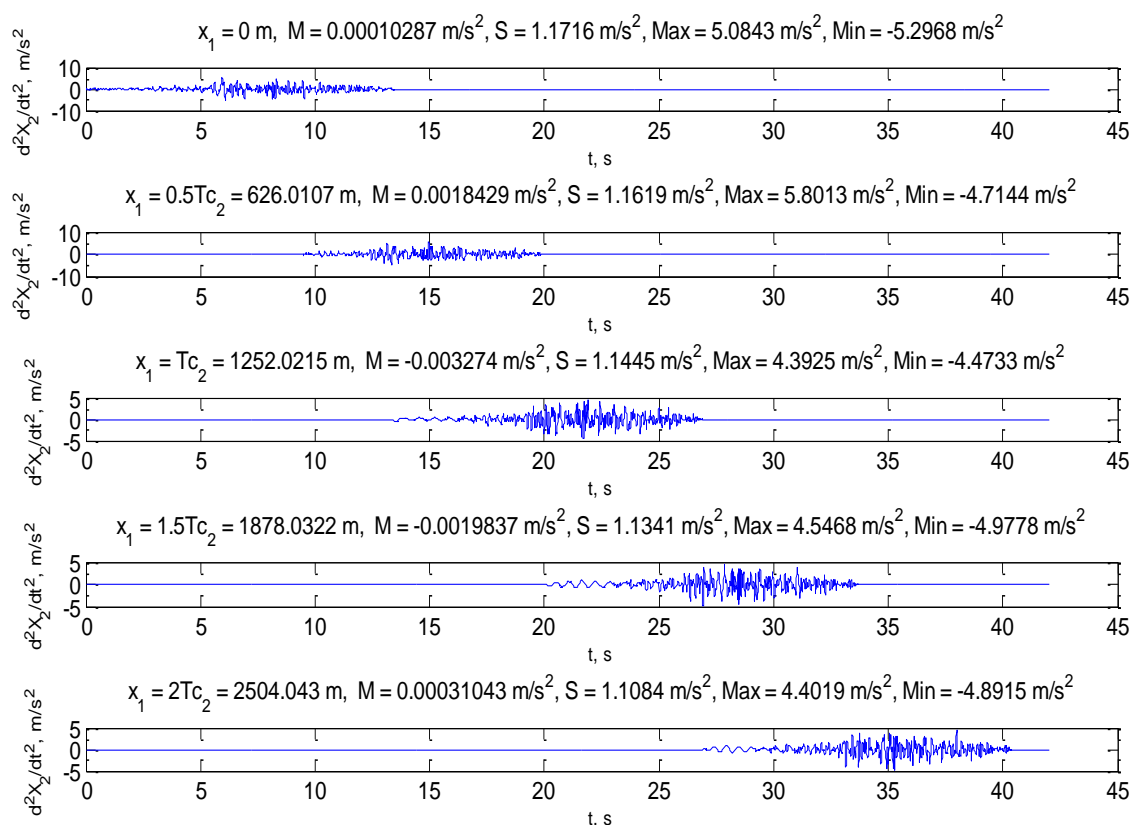


Рисунок 7 - Движущаяся волна Лява (на поверхности слоя)

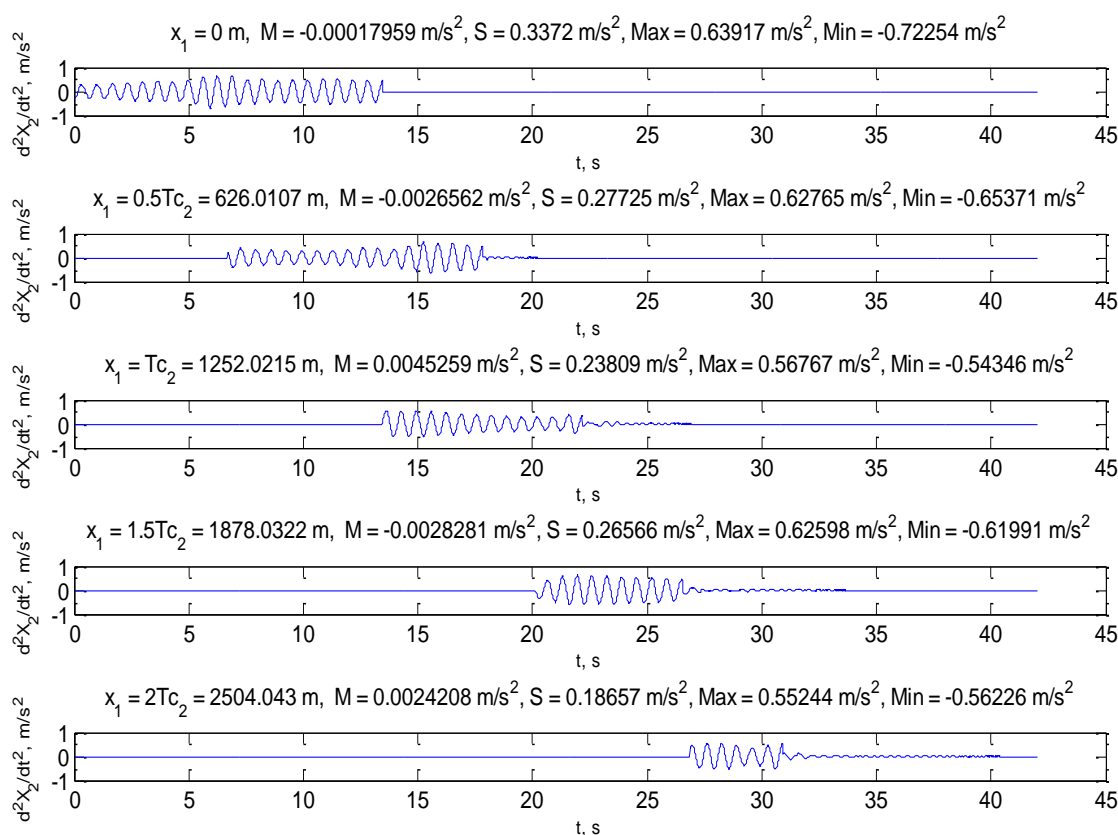


Рисунок 8 - Движущаяся волна Лява (на глубине $H=20$ м от поверхности полупространства)

Предложенный метод может применяться для представления волн Лява в составе обобщенной волновой модели [1, 7-10], удобной для формирования композиции объемных и поверхностных сейсмических волн, расчета ротаций, выбора наиболее опасной для сооружения расчетной комбинации волн. Обобщенная волновая модель применяется для задания сейсмического воздействия в виде пространственного волнового движения грунта от нескольких типов волн. Волновая модель должна формироваться совместно со специалистами-сейсмологами, которые могут дать указания относительно доли объемных или поверхностных волн в общей волновой картине (этот вопрос обсуждается в [1, 3, 7]). Однако если такой информации нет, волны Лява могут быть рассмотрены как самостоятельное проверочное пространственное воздействие, вызывающее повороты конструкции относительно вертикальной оси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаров, Ю.П. Аналитические основы расчета сооружений на сейсмические воздействия. - М.: Наука, 2010. - 468 с.
2. Назаров, Ю.П. Моделирование процесса распространения волн Рэлея в пространстве по заданной акселерограмме [Текст] / Ю.П. Назаров, Е.В. Позняк // Строительство и реконструкция. №2 (58) 2015, с. 20-26.
3. Саваренский, Е.Ф. Сейсмические волны [Текст]. - М.: Недра, 1972.
4. Новацкий, В. Теория упругости [Текст]. - М.: Издательство «Мир», 1975.
5. Болт, Б. Землетрясения. Общедоступный очерк [Текст]. - М.: Мир, 1981.
3. Назаров, Ю.П. Расчетные модели сейсмических воздействий [Текст]. -М.: Наука, 2012.
5. Гаскин, В.В. Динамика и сейсмостойкость зданий и сооружений [Текст] / В.В. Гаскин, А.Н. Снитко, В.И. Соболев. - Иркутск: Изд-во Иркутск. ун-та, 1992.
6. Викторов, И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах [Текст]. - М.: Наука, 1981.
7. Назаров, Ю.П. Анализ вида волновой модели и получение расчетных параметров сейсмического воздействия для высотного здания [Текст] / Ю.П. Назаров, Е.В. Позняк, А.В. Филимонов // Промышленное и гражданское строительство. - 2014. - №5. - С.40-45.
8. Nazarov, Yu.P. A brief theory and computing of seismic ground rotations for structural analyses [Text] Yuri P. Nazarov, Elena Poznyak, Anton V. Filimonov.// Soil Dynamics and Earthquake Engineering. - 2015. - Vol.71. - pp. 31-41.
9. Назаров, Ю.П. Расчетные модели сейсмических воздействий [Текст]. -М.: Наука, 2012. - 414 с.
10. Назаров, Ю.П. Расчетные параметры волновых полей сейсмических движений грунта [Текст]. -М.: Наука, 2015. - 401 с.

Позняк Елена Викторовна

НИУ Московский энергетический институт, г. Москва,

Кандидат технических наук, доцент кафедры Робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин.

Тел. +7 926 584 88 27

E-mail: PozniakYV@mpei.ru

E.V. POZNYAK

SIMULATION OF LOVE WAVES SPACE-TIME FIELDS USING AN ACCELEROGRAM

This paper continues a work on simulating of seismic waves fields based a given accelerogram [Stroiye'l'stvo i rekonstrukcija 2, 2015, p.p. 20-26]. An algorithm is based on decomposition of original accelerograms in a Fourier series and applied for simulating of the Love waves field. However, there are circumstances that complicate a generation of spatial wave field. Surface Love waves arise in an elastic medium, consisting of a layer lying on a stiffer half-space. Love wave is dispersive, i.e. its phase velocity depends on a frequency; moreover, several waves with different phase velocities can exist to a single frequency. This paper provides an analysis of a dependence of roots of a dispersion equation (phase velocities) on the frequencies and layer thickness; the formulae are derived for the simulating

Love wave propagation. A source accelerogram is considered as a set of harmonic waves. For each frequency the phase velocity of the first order Love wave is determined. The result of this simulation is horizontal movement accelerations of ground particles at any point of the layer and elastic half-space. For an example, calculation of seismic field using a record of horizontal movement of Gazli earthquake (May 14, 1976, 2048 points, duration 13.48 s) is considered.

Keywords *surface seismic waves, Love wave, phase velocity of Love waves, dispersion of Love waves, field of seismic accelerations, accelerogram, layered medium*

REFERENCES

1. Nazarov YU.P. Analiticheskiye osnovy rascheta sooruzheniy na seysmicheskoye vozdeystviye. - M.: Nauka, 2010.- 468 s.
2. Nazarov YU.P., Poznyak Ye.V. Modelirovaniye protsessa rasprostraneniya voln Releya v prostranstve po zadannoy akselerogramme. //Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. №2 (58) 2015, c. 20-26.
3. Savarenskiy Ye.F. Seysmicheskiye volny. - M.: Nedra, 1972.
4. Novatskiy V. Teoriya uprugosti. - M.: Izdatel'stvo «Mir», 1975.
5. Bolt B. Zemletreseniya. Obshchedostupnyy ocherk. - M.: Mir, 1981.
3. Nazarov YU.P. Raschetnyye modeli seysmicheskikh vozdeystviy. -M.: Nauka, 2012.
5. Gaskin V.V., Snitko A.N., Sobol' V.I. Dinamika i seysmostoykost' zdaniy i sooruzheniy. - Irkutsk: Izd-vo Irkutsk. un-ta, 1992.
6. Viktorov I.A. Zvukovyye poverkhnostnyye volny v tverdykh telakh. M.: Nauka, 1981.
7. Nazarov YU.P., Poznyak Ye.V., Filimonov A.V. Analiz vida volnovoy modeli i polucheniye raschetnykh parametrov seysmicheskogo vozdeystviya dlya vysotnogo zdaniya// Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo, 2014, №5, s.40-45.
8. Yuri P. Nazarov, Elena Poznyak, Anton V. Filimonov. A brief theory and computing of seismic ground rotations for structural analyses. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v.71 (2015), pp. 31–41.
9. Nazarov YU.P. Raschetnyye modeli seysmicheskikh vozdeystviy. -M.: Nauka, 2012, 414 c.
10. Nazarov YU.P. Raschetnyye parametry volnovykh poley seysmicheskikh dvizheniy grunta. -M.: Nauka, 2015, 401 c.

E.V. Poznyak

NIU Moscow Power Engineering Institute, Moscow,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Robotics, Mechatronics, Dynamics and Strength of Machines.

Tel. +7 926 584 88 27

E-mail: PozniakYV@mpei.ru

УДК 624.971.014.2:654.19

КОДЫШ Э.Н., МАМИН А.Н., БОБРОВ В.В., РЭУЦУ А.В., КУЗНЕЧЕНКО С.А.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ РАДИОБАШНИ В.Г. ШУХОВА

В статье приведены методика и сравнительные результаты обследований конструкций Радиобашни Шухова в Москве 2011 г. и 2017 г., дана оценка технического состояния конструкций и представлены рекомендации по обеспечению физической сохранности Радиобашни путем попарусного «вывешивания» каждой секции и поэлементной регулировки разгружающих усилий с контролем пространственного расположения конструкций Радиобашни.

Ключевые слова: Радиобашня Шухова, коррозия, обследование, трехмерная модель, 3D сканирование.

Радиобашня великого русского инженера и изобретателя В.Г. Шухова возводилась в период с сентября 1919 г. по март 1922 г. в г. Москве. С учетом траверс и флагштока высота башни составляла 160 м. Конструкция башни представляет собой решетчатую пространственную систему из шести секций. На сегодняшний день башня является объектом культурного наследия регионального значения, памятником архитектуры и инженерной мысли.

В 2017 г. сотрудниками отдела обследований зданий и сооружений №1 АО «ЦНИИПромзданий» проведено комплексное обследование несущих строительных конструкций Радиобашни Шухова, расположенной по адресу: г. Москва, ул. Шухова, 10, стр. 2, с целью выявления технического состояния конструкций и разработки рекомендаций по укреплению и реставрации.

Комплекс проведенных при обследовании работ включал:

- разработку методики и программы проведения обследования;
- изучение конструктивных особенностей сооружения на основании имеющейся документации и сверку с натурой;
- изучение истории возведения и эксплуатации Радиобашни;
- анализ результатов ранее проведенных обследований;
- выполнение обмерных работ для уточнения сечений отдельных элементов;
- сплошное визуальное и выборочное инструментальное обследование элементов и узлов металлических конструкций сооружения с выявлением имеющихся дефектов и повреждений;
- обследование фундаментов из открытых шурфов;
- исследование свойств грунтового основания под подошвой фундамента;
- выполнение проверочных расчетов несущих конструкций с учетом уточненных геометрических параметров конструктивных элементов башни, количественных показателей выявленных дефектов и повреждений.

Радиобашня состоит из шести секций. Стержневой каркас каждой секции образован элементами внешнего и внутреннего рядов, оси которых являются прямолинейными образующими гиперболоида вращения. В пределах секции стержни раскреплены промежуточными кольцами жесткости. В местах сопряжения секций друг с другом расположены основные межсекционные кольца, выполненные в виде горизонтальных кольцевых ферм.

Крепление элементов и деталей в узлах сопряжения стоек между собой и с кольцами в пределах первых двух секций выполнены с помощью заклепок, а выше – с помощью заклепок и болтов (диаметр всех метизов – 16 мм).

Фундамент башни – бутобетонный, высотой 2,9 м и шириной 1 м, с железобетонным поясом, на котором установлены стержневые элементы первой секции.

В 1937 г. были устроены две вертикальные фермы по высоте башни для прокладки фидера до пятой секции (~125 м) и три площадки на отметках ~142 м, 144 м и 148 м для установки антенн; в 1972-1991 гг. установлены дополнительные промежуточные кольца усиления в третьей и пятой секциях, вертикальная кольцевая ферма в верхней части пятой секции, наварены накладки в узлах сопряжения стоек первой и второй секций, надстроена седьмая секция, узлы опирания на фундамент стоек первой секции обетонированы на высоту 0,5-0,65 м, надстроена седьмая секция.



Рисунок 1 – Общий вид Радиобашни с опорной конструкцией внутри

По имеющимся данным, до 2011 года различными специалистами и организациями проводились обследования технического состояния конструкций Радиобашни Шухова, среди которых: в 1947 г. – «Союзрадиопроект» и «Проектстальконструкция»; в 1969 г. – ГСПИ Министерства связи; в 1971 г. – ЦНИИПСК Госстроя СССР; в 1992 г. – ГЦРТ Министерства связи; 2001 г. – ГУП ЦНИИСК Госстроя России; в 2008 г. ООО «Экс ПП Экологические технологии». Были проведены выборочные обмеры и освидетельствования узлов и элементов, определение химического состава и механических характеристик металла, статические и динамические расчеты. В 2010 году итоги указанных обследований проанализированы и обобщены в отчете ОАО «ЭН-ПИ», по результатам которого академиком РААСН В.И.Травушем разработаны «Технические условия для определения несущей способности металлоконструкций радиобашни В.Г. Шухова», включающие указания по освидетельствованию и расчету сооружения.

В 2011 г. впервые за всю историю эксплуатации башни, сотрудниками отдела обследований зданий и сооружений №1 АО «ЦНИИПромзданий», были выполнены обмерно-обследовательские работы всех несущих элементов и узлов.

По результатам обследования АО «ЦНИИПромзданий» ООО ПСП «КиН» была разработана Проектная документация на производство ремонтно-реставрационных работ по сохранению объекта культурного наследия регионального значения «Радиобашня, 1922 г. инженера В.Г.Шухова», согласованная Мосгорнаследием 23 марта 2012 г. (№ 16-02-2123/7-(74)-1). Из-за отсутствия финансирования ремонтно-реставрационные работы тогда не были проведены.

В 2015-2016 годах на Радиобашне Шухова по проекту, разработанному АО «ЦНИИПромзданий» в 2014 году, были выполнены противоаварийные мероприятия, а именно:

- внутри контура Радиобашни возведена металлическая опорная конструкция (рис. 1), к которой на четырех ярусах (в 6 точках на каждом ярусе) прикреплены узлы Радиобашни;
- демонтирована седьмая секция, надстроенная в 1991 году.

Противоаварийная конструкция исключает возможность внезапного лавинообразного обрушения сооружения, но при этом остается опасность локальных разрушений, и по совокупности дефектов и повреждений конструкции Радиобашни остаются в аварийном состоянии.

В рамках обследования 2017 г., проведены следующие мероприятия:

- выполнена трехмерная модель Радиобашни с помощью лазерного 3D сканирования, выполненного компанией ООО «Триметари»;

- выполнен комплекс проверочных расчетов по расчетной схеме, составленной по результатам лазерного 3D сканирования и учитывающей фактическое расположение узлов Радиобашни;

- произведена проверка сечений элементов и узлов их сопряжения, уточнившая данные обследования 2011 года;

- произведено сравнение 3D моделей Радиобашни, выполненных по результатам лазерного сканирования 2011 г. и 2017 г.;

- составлены схемы расположения укрупнительных узлов стержневых элементов;

- с помощью сканирования ультразвуковым томографом выявлено, что плотность и состав материала кольца фундамента начиная с глубины около 0,5 м в поперечном сечении неравномерны.

В процессе обследования 2017 г. металлических конструкций Радиобашни выявлены многочисленные дефекты и повреждения. Наиболее опасным для сооружения является щелевая коррозия вертикальных фасонков, приводящая к отрыву головок заклепок, наличие сквозной коррозии (рис. 2) в узлах сопряжений элементов и глубокой язвенной коррозии (рис. 3) в частях стоек первого яруса на участках, примыкающих к верхней границе бетона.

Сравнение результатов обследования 2017 г. с данными 2011 г. (рис. 4) выявило увеличения площади на которой имеется поверхностная коррозия.

При обследовании фундамента подтверждено, что в теле фундамента отсутствует надежное сцепление между отдельными бутовыми камнями.

Выявленное при обследовании увеличение площади поверхностной коррозии (рис. 4) свидетельствует о продолжении развития коррозионного процесса, в том числе и в отношении наиболее опасной для узлов сопряжений щелевой коррозии.



Рисунок 2 – Сквозная коррозия в промежуточных спаренных кольцах секции 4



Рисунок 3 – Глубокая язвенная коррозия отмечена на границах соединений элементов



а) фотография конструкций кольца возле узла №37 - 2011 год

б) фотография конструкций кольца возле узла №37 - 2017 год

Рисунок 4 – Сравнительные фотографии металлических конструкций Радиобашни по результатам обследований 2011 г. и 2017 г.

Комплекс проверочных расчетов Радиобашни показал:

- напряжения, возникающие в отдельных элементах, превышают допустимые значения, что частично компенсируется за счет перераспределения усилий на расположенные рядом элементы. Значения напряжений в отдельных стержнях Радиобашни превышают расчетное сопротивление стали соответствующих элементов; фактические превышения напряжений на участках, ослабленных щелевой коррозией, превышают полученные в расчетах значения;

- несущая способность фундамента, из-за отсутствия сцепления между бутовыми камнями, понижена; несущей способности грунтов основания при существующей площади подошвы фундамента достаточно для восприятия расчетных нагрузок.

На основании данных, полученных при обследовании строительных конструкций Радиобашни Шухова, согласно ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» состояние фундамента Радиобашни классифицируется как ограниченно-работоспособное, а металлических элементов - как аварийное, при этом в металлических конструкциях продолжается развитие коррозионных процессов. Необходимо срочное проведение работ по реставрации Радиобашни с усилением ее конструкций.

Для безопасного и качественного проведения работ по реставрации и сохранения существующего пространственного расположения конструкций Радиобашни рекомендовано:

1. Предусмотреть возможность полной разгрузки каждого элемента Радиобашни. Принятые решения должны обеспечивать возможность поэлементной регулировки разгружающих усилий и контроль пространственного расположения конструкций для возможной замены элементов или временного изъятия с целью восстановления их несущей способности;

2. Разгрузку целесообразно осуществлять путем поярусного «вывешивания» каждой секции Радиобашни. Для более точной регулировки разгружающих усилий в отдельных стержнях рекомендуется предусмотреть возможность устройства дополнительных узлов «вывешивания» Радиобашни;

3. В качестве опоры для разгрузки и регулировки разгружающих усилий следует установить дополнительные стальные опорные конструкции и обеспечить их совместную работу с существующей противоаварийной опорной башней;

4. Обеспечить максимально возможное снижение усилий в элементах Радиобашни от ветровой нагрузки. С этой целью предлагается:

- на время реставрационных работ разобрать пятую и шестую секции Радиобашни с последующей обратной сборкой отреставрированных элементов;

- обеспечить передачу горизонтальной нагрузки с Радиобашни на опорные конструкции.

5. Удалить обетонирование опорных узлов выше нижней отметки базы стоек, выполнить ревизию анкерных болтов, и, при необходимости, восстановить анкеровку опорных узлов;

6. Выполнить усиление фундамента путем устройства монолитных железобетонных обойм по обе стороны существующего фундамента. Работы выполнять на отдельных захватках последовательно с оголением бутового фундамента только с одной стороны и не более, чем на 2,4 метра. Оголение соседнего участка выполнять после набора прочности бетона усиления не менее 70%;

7. Восстановить несущую способность и первоначальный вид металлических конструкций секций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гранёв, В.В. К 160-летию со дня рождения В. Г. Шухова / В.В .Гранёв, Э.Н. Кодыш, А.Н. Мамин // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 2. С. 73-76.
2. Гранёв, В.В. Техническое состояние несущих конструкций радиобашни В.Г. Шухова / В.В .Гранёв, А.Н. Мамин, Э.Н. Кодыш, С.А. Кузнеценко, М.Н. Ершов // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 2. С. 90-92.
3. Гранёв, В.В. Сохраним радиобашню В.Г. Шухова / В.В .Гранёв, А.Н. Мамин, Э.Н. Кодыш, В.В. Бобров, М.Н. Ершов, С.А. Матвеюшкин // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 6. С. 14-19.
4. Технический отчет «По результатам обследования строительных конструкций радиобашни Шухова, расположенной по адресу: г. Москва, ул. Шухова, 10, стр. 2». ОАО «ЦНИИПромзданий», 2011 – 100 с.
5. СП 20.13330.2011 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия».
6. Технический отчет «По результатам обследования строительных конструкций радиобашни Шухова, расположенной по адресу: г. Москва, ул. Шухова, 10, стр. 2». АО «ЦНИИПромзданий», 2017 – 102 с.

Кодыш Эмиль Наумович

АО «ЦНИИПромзданий», г. Москва

Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник

E-mail: otks@yandex.ru

Мамин Александр Николаевич

АО «ЦНИИПромзданий», г. Москва

Доктор технических наук, профессор, начальник отдела обследований зданий и сооружений

E-mail: otozs@yandex.ru

Бобров Владимир Викторович

АО «ЦНИИПромзданий», г. Москва

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник

E-mail: otozs@yandex.ru

Рзуцу Александр Викторович

АО «ЦНИИПромзданий», г. Москва

ведущий инженер

E-mail: otozs@yandex.ru

Кузнеценко Сергей Александрович

АО «ЦНИИПромзданий», г. Москва

инженер

E-mail: otozs@yandex.ru

E.N. KODYSH, A. N. MAMIN, V.V. BOBROV, A.V. REUTSU, S.A. KUZNECHENKO

THE RESULTS OF THE SURVEY OF THE RADIO TOWER BY V. SHUKHOV

The article presents the methodology and comparative survey of the structures Shukhov's radio Tower in Moscow 2011 and 2017, the estimation of the technical state of structures and recommendations for physical preservation of the Tower tiered by "hanging" each section and unit adjustment reduces the load on efforts to control the spatial location of structures radio Tower.

Key words: Shukhov's radio tower, corrosion, inspection, 3D model, 3D scanning.

REFERENCES

- Granov V.V. K 160-letiyu so dnya rozhdeniya V. G. Shukhova / V.V. Granov, E.N. Kodysh, A.N. Mamin // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2013. № 2. S. 73-76.
2. Granov V.V. Tekhnicheskoye sostoyaniye nesushchikh konstruktsiy radiobashni V.G. Shukhova / V.V. Granov, A.N. Mamin, E.N. Kodysh, S.A. Kuznechenko, M.N. Yershov // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2012. № 2. S. 90-92.
3. Granov V.V. Sokhranim radiobashnyu V.G. Shukhova / V.V. Granov, A.N. Mamin, E.N. Kodysh, V.V. Bobrov, M.N. Yershov, S.A. Matveyushkin // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2016. № 6. S. 14-19.
4. Tekhnicheskyy otchet «Po rezul'tatam obsledovaniya stroitel'nykh konstruktsiy radiobashni Shukhova, raspolozhennoy po adresu: g. Moskva, ul. Shukhova, 10, str. 2». OAO «TSNIIPromzdaniy», 2011 – 100 s.
5. SP 20.13330.2011 «SNiP 2.01.07-85* Nagruzki i vozdeystviya».
6. Tekhnicheskyy otchet «Po rezul'tatam obsledovaniya stroitel'nykh konstruktsiy radiobashni Shukhova, raspolozhennoy po adresu: g. Moskva, ul. Shukhova, 10, str. 2». AO «TSNIIPromzdaniy», 2017 – 102 s.

Kodysh Emil Naumovich

AO «CNIIPromzdaniy», Moscow
Doctor of technical Sciences, Professor, chief researcher
E-mail: otks@yandex.ru

Mamin Aleksandr Nikolaevich

AO «CNIIPromzdaniy», Moscow
Doctor of technical Sciences, Professor, Head of the Department of Surveys of Buildings and Structures
E-mail: otozs@yandex.ru

Bobrov Vladimir Viktorovich

AO «CNIIPromzdaniy», Moscow
Candidate of technical Sciences, senior researcher
E-mail: otozs@yandex.ru

Reutsu Aleksandr Viktorovich

AO «CNIIPromzdaniy», Moscow
chief engineer
E-mail: otozs@yandex.ru

Kuznechenko Sergej Aleksandrovich

AO «CNIIPromzdaniy», Moscow
engineer
E-mail: otozs@yandex.ru

СЕЛЯЕВ В. П., СЕЛЯЕВ П. В., АЛИМОВ М. Ф., СОРОКИН Е. В.

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ДЕЙСТВИЮ ХЛОРИДНОЙ КОРРОЗИИ

Приведены результаты экспериментальных данных о работе бетонных и армобетонных элементов, подверженных воздействию водных растворов, содержащих ионы хлора. На основе метода предельных состояний и кинетических законов взаимодействия, сохранения сорбции масс сформирована расчетная модель, позволяющая прогнозировать проектный и остаточный ресурс изгибаемых элементов. Рассмотрены особенности работы изгибаемых элементов с композитной арматурой.

Ключевые слова: показатели химического сопротивления, предельная сорбционная емкость, коэффициент химической стойкости, модель деградации, армобетонные изгибаемые элементы, деградационные функции.

Введение

Конструкции из бетона в процессе эксплуатации часто подвергаются действию ионов хлора, которые могут попадать в структуру материала: вместе с минерализованной водой затворения; добавками - ускорителями твердения; из растворов солей, применяемых в качестве антиобледенителя. Изучению особенностей работы железобетонных конструкций в условиях действия агрессивных сред уделяется большое внимание в работах В. М. Бондаренко, Б. В. Гусева, В. И. Колчунова, Л. М. Пухонто, В. И. Римшина, С. Н. Леоновича, В. П. Селяева и др. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

Целью данной работы является формирование на основе метода предельных состояний и фундаментальных законов физики и химии расчетной модели, позволяющей прогнозировать проектный и остаточный ресурс железобетонных изгибаемых элементов, подверженных хлорной агрессии; экспериментальное подтверждение адекватности предлагаемой модели.

Для достижения поставленной цели необходимо: изучить кинетику взаимодействия цементного бетона с водными растворами, содержащими ионы хлора; определить основные кинетические параметры, позволяющие контролировать состояние конструкций при совместном действии нагрузки и агрессивных сред; разработать методы экспериментально - теоретического описания кинетики взаимодействия материала конструкций с реакционноспособными растворами; провести испытания армобетонных изгибаемых элементов.

В последние годы для повышения ресурса армированных бетонных конструкций предлагается заменить стальную арматуру на композитную: стекло-, базальто-, углепластиковую. Однако, особенности работы армобетонных конструкций с композитной арматурой изучены мало. Поэтому в предлагаемой работе делается попытка сравнить работу изгибаемых элементов, армированных стальными и композитными стержнями.

Расчетная модель

В работах В. П. Селяева, В. И. Соломатова, В. Н. Уткиной, Л. М. Ошкиной, Т. А. Нижиной [9, 10] предложено для расчета железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях совместного действия механических нагрузок и агрессивных водных растворов, применять модели деградации, основными параметрами которых являются глубинный показатель (a) и коэффициент химического сопротивления ($k_{х.с.}$).

Модель деградации (рис. 1) представлена в виде эпюр (изохрон деградации), характеризующих распределение свойств (микротвердости, модуля упругости, предела прочности) по высоте поперечного сечения конструкционного элемента. Параметры модели: a - глубинный

показатель характеризует влияние процесса переноса субстанции (агрессивной среды, энергии разрушения) на работу элемента; k_{xc} - коэффициент химического сопротивления является характеристикой химической активности агрессивной среды и оценивается по интенсивности изменения свойств материала на поверхности изделия, в зоне контакта с агрессивной средой.

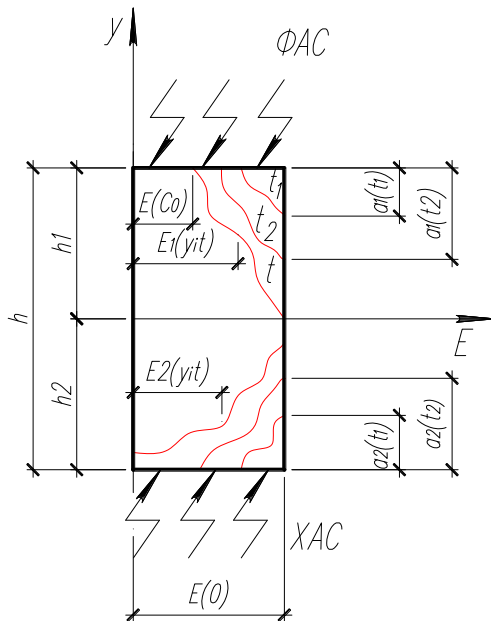


Рисунок 1 – Феноменологическая модель деградации поперечного сечения конструкционного элемента

Глубинный показатель "a" предлагаем определять на основе закона сохранения массы с учетом уравнений Фика и Лангмюра, описывающих, соответственно, процессы переноса и сорбции частиц.

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2}, \quad \omega(t) = \frac{\omega_m t}{(t_{0.5} + t)}, \quad (1)$$

где ω - концентрация среды; ω_m - предельная сорбционная емкость; $t_{0.5}$ - кинетический показатель полураспада.

Из решения уравнения (1) следует:

$$a = k(\omega) \sqrt{Dt}; \quad D = A(\omega) \frac{R^2}{t_{0.5}} = 0.2 \frac{R^2}{t_{0.5}} \quad (2)$$

где D - коэффициент переноса субстанции; R - характерный (приведенный) размер образца.

$$A(\omega) = \frac{4}{\pi} \left[\ln \frac{8}{\pi^2} - \ln \frac{\omega_m - \omega(t)}{\omega_m} \right] \frac{1 - \frac{\omega(t)}{\omega_m}}{\frac{\omega(t)}{\omega_m}}. \quad (3)$$

Очевидно, если $\omega(t) = 0.5 \omega_m$ (при $t = t_{0.5}$), то

$A(\omega) \approx 0.2$, $k(\omega) = 0.4$ принимаем с учетом ин-

струментальной точности определения координаты фронта разрушения композита агрессивной средой.

Коэффициент химического сопротивления k_{xc} предлагаем определять на основе анализа бимолекулярной модели закона действия масс (Закон Гульдберга-Вааге):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = k_1 c^n \omega^m, \quad (4)$$

где c - концентрация работоспособных связей в объеме материала.

Решая уравнение (4) при условии, что концентрация c прямо пропорциональна модулю упругости, прочности или твердости (H), получаем:

$$H(t) = \frac{H(0)}{k_1 \omega_m t + 1}, \text{ или } k_{xc} = \frac{1}{k_0 t + 1}, \quad (5)$$

где $H(t)$, $H(0)$ - микротвердость (прочность, модуль упругости в момент времени t).

Для определения параметров модели деградации (a) и k_{xc} необходимо: по сорбционным данным определить $t_{0.5}$, ω_m , D ; по графикам изменения прочности под действием агрессивных сред коэффициент k_0 .

Эксперимент

Экспериментальные исследования проводились на образцах призмах (20x20x20 мм, 40x40x160 мм), балках с размерами поперечного сечения 120x140 мм, длиной 1030 мм (см. рис. 2). Балки с одиночным армированием композитными (Арматек Ø6 -С-1) и стальными

($\varnothing 6$ А400 - М-1) стержнями перед испытанием выдерживались на воздухе (М-1, С-1) и в растворах (1% HCl и 25% HCl), содержащих ионы хлора (балки С-1к).

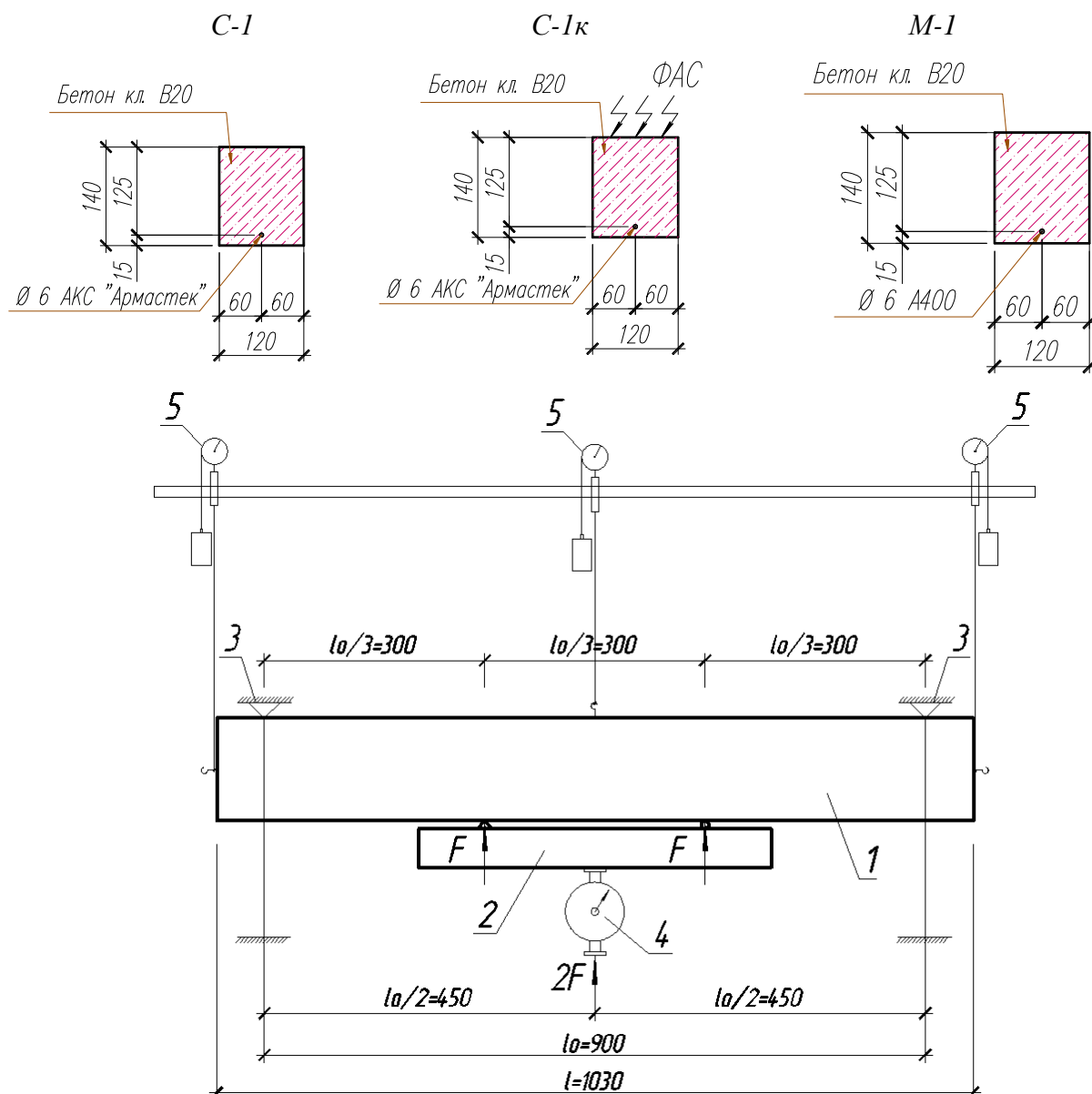


Рисунок 2 – Поперечное сечение балок. Схема испытаний опытных балок и расстановка измерительной аппаратуры

Для изготовления балок и призм применялись цементное вяжущее на основе цемента ПЦ-М500-Д0, ОАО "Мордовцемент", В/Ц=0,35, наполнители (микрокремнезем Мк) в количестве 15% и суперпластификатор Пластанал-7, 0,9% от массы цемент.

Образцы после термообработки выдерживались в средах при нормальной температуре (20-23 °С) После 7, 30, 100, 150, 180 суток экспонирования образцы-призмы извлекали, сушили и фиксировали изменения прочности (σ_b), массы (ω), глубины (a) проникания среды в объем образца. Кинетические кривые сорбции и прочности приведены на рис. 3. Методом линеаризации кривых сорбции в осях $1/\omega(t) \div 1/t$, находим параметры ω_m и $t_{0.5}$ и по ним D. По кривым изменения прочности находим $k_0 = (\frac{1}{k_{x.c.}} - 1)/t$ и $k_{x.c.}$.

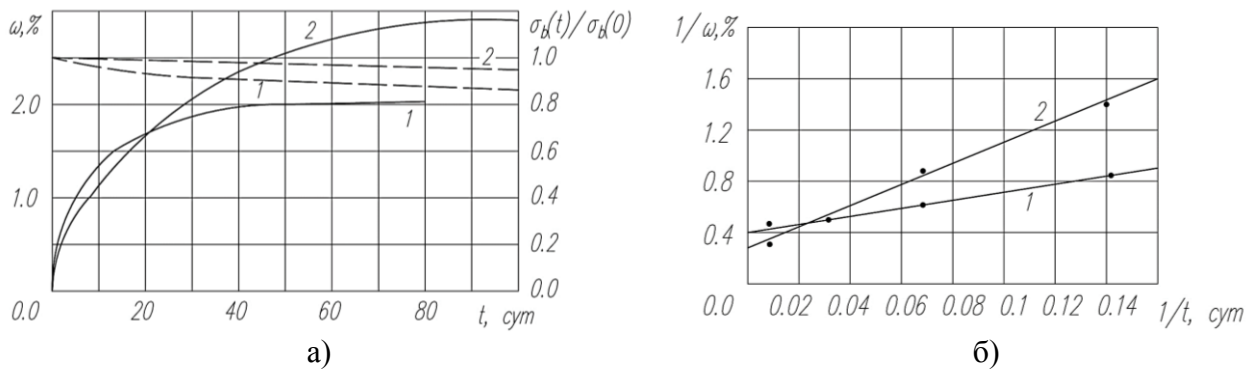


Рисунок 3 – График кинетики изменения сорбции и прочности цементных композитов под действием водных растворов. 1 - 1% HCl; 2 - 25% NaCl. а) в осях $\omega - t$; б) в осях $1/\omega \div 1/t$

Показатели химического сопротивления приведены в таблице 1.

Таблица 1– Показатели химического сопротивления цементного вяжущего

№ п/п	Среда	Предельная сорбционная емкость, $\omega_m \%$	$t_{0.5}$ (20x20x70 мм)	$k_{х.с.}$ (180 суток)	$D \cdot 10^6$, $\text{м}^2/\text{час}$
1	1% HCl	2.5	170	0.75	0.23
2	25% NaCl	3.3	400	0.90	0.10

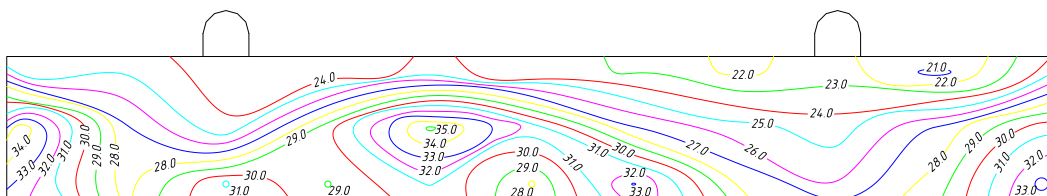
Испытания балок проводили по общепринятой методике (ГОСТ 8829-94) на установке, общий вид которой приведен на рис. 2. Перед испытанием было определено распределение прочности в пределах площади боковой поверхности балок (см. рис. 4). Результаты испытаний неразрушающим методом дали возможность оценить предел статистической изменчивости прочности бетона балок и определить сечение в котором наиболее вероятно появление первой трещины. Нагружение производилось дискретно ступенями 5-10% от разрушающей нагрузки. Деформации измерялись прогибомерами часового типа, ширина раскрытия трещин микроскопом МПБ-2.

Результаты и обсуждение

Результаты испытаний балок и призм представлены на рисунке 5 и в таблицах 1, 2.

Сравнение результатов работы под нагрузкой изгибаемых элементов с композитной и металлической арматурой показывает: замена стальной арматуры на композитную повышает несущую способность на 13%, снижает момент трещинообразования на 15% и увеличивает прогибы f_{ser} в два раза и f_u в три раза; расчетные модели принятые нормами для анализа разрушения, образования трещин, развития прогибов изгибаемых армобетонных элементов, необходимо корректировать с учетом особенностей совместной работы композитной арматуры с цементным бетоном. Образование первых трещин в балках с композитной арматурой сопровождается нарушением сцепления между арматурой и бетоном на участках более значительной протяженности, чем в образцах с металлической арматурой. Очевидно это явление и низкое значение модуля упругости композитной арматуры объясняют снижение момента трещинообразования и увеличение прогибов при замене в балках стальной арматуры на композитную. Появление первой трещины соответствовало изолиниям на рис. 4.

Под действием агрессивной среды происходит снижение прочности бетона внешних контактных слоев балки на величину $k_{х.с.}$ и на глубину a . Экспериментально установлено, что уже после 60 суток действия ионов хлора несущая способность балок снизилась M_u на 7%, момент образования трещин на 17%; прогибы f_{ser} увеличились в 1,5 раза.



Прочность балки С-1, определенная неразрушающим методом прибором Оникс 2.5



Балка С-1 до нагружения (эксперимент)



3-я ступень нагружения (нагрузка $2F=5,411$ кН) (эксперимент)



4-я ступень нагружения (нагрузка $2F=7,013$ кН) (эксперимент)



5-я ступень нагружения (нагрузка $2F=7,987$ кН) (эксперимент)

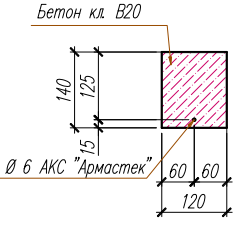
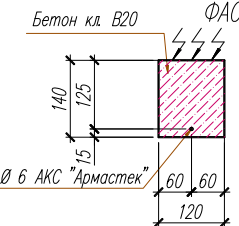
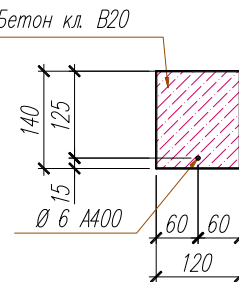


6-я ступень нагружения (нагрузка $2F=10,076$ кН) (эксперимент)



6-я ступень нагружения через 2 минуты, разрушение (нагрузка $2F=10,076$ кН)

Рисунок 4 – Испытание прочности балки С-1 на разных ступенях нагружения

№ п/п	Эскиз	M_u , кН м		M_{crc} , кНм		f_{ser} , мм		f_u , мм	
		эк.	теор.	эк.	теор.	эк.	теор.	эк.	теор.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1*	<p>С-1</p> 	1.5	$\frac{1.06}{2.03}$	0.6	$\frac{0.55}{0.79}$	0.8	0.75	18.0	-
2**	<p>С-1к</p> 	$\frac{1.4}{93\%}$	0.98	$\frac{0.5}{83\%}$	0.87	$\frac{1.2}{150\%}$	0.86	17.0	-
3	<p>М-1</p> 	1.33	1.33	0.7	0.8	0.4	0.28	6.0	-

* В числителе данные, полученные в результате расчета по нормам СП 63.13330.2012, в знаменателе - по результатам экспериментального определения R_{sn} .

**Для балок серии С-1к в числителе приведены экспериментальные данные после 180 суток экспонирования в агрессивной среде 1-25% HCl , в знаменателе в процентах от данных для балок серии С-1. В графе (теор.) даны значения соответствующих деградационных функций.

Показатели химического сопротивления цементного вяжущего, определенные по экспериментальным данным, приведены в таблице 3.

Параметры ω_m и $t_{0.5}$ определялись по графикам сорбции; коэффициент диффузии по формуле 2. По экспериментальным данным изменения прочности во времени были определены численные значения $k_{x.c.}$ и по ним соответствующие функции.

$$k_{x.c1} = \frac{1}{75 \cdot 10^{-6} t + 1}; k_{x.c2} = \frac{1}{26 \cdot 10^{-6} t + 1}; \quad (6)$$

Рассматривая модель деградации с линейными изохронами, запишем условия предельных состояний для изгибаемого элемента, подверженного действию ионов хлора в виде неравенства:

$$M \leq M_{u(0)} D(M); M \leq M_{crc(0)} D(Mc); f = f D(Wu)^{-1} \leq f_n,$$

где $D(M)$, $D(Mc)$, $D(Wu)$ - деградационные функции, методика определения которых изложена в работе авторов [7].

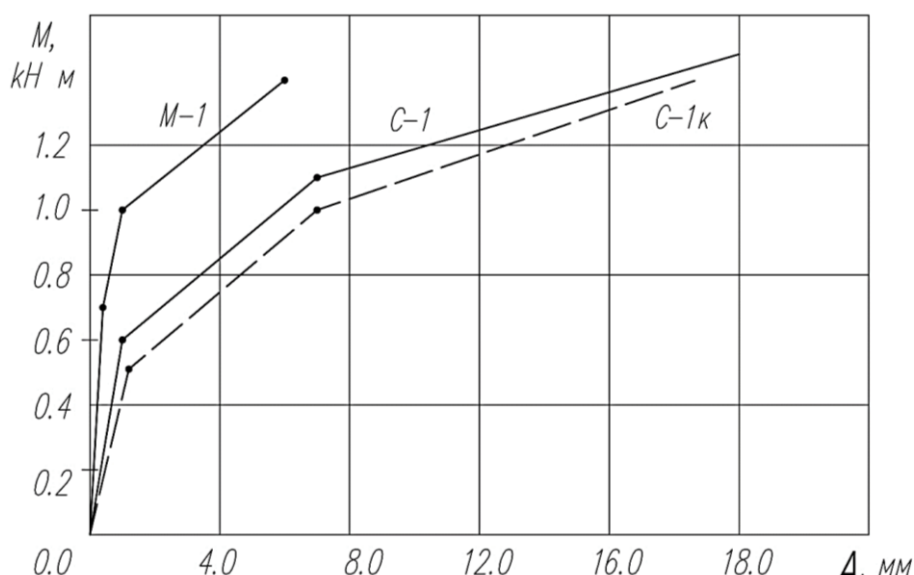


Рисунок 5 – Изменение прогибов в процессе нагружения балок C-1, C-1к, M-1

С учетом деградационных функций изменение M_u , M_{crc} и f от длительности t действия агрессивной среды предлагаем определять по формулам:

$$M_u(t) = \alpha_m R_b b h_0^2 \left[1 - \frac{(1 - k_{x.c.})a/h}{1 - 0.5\mu R_s/R_b} \right]; \quad (7)$$

$$M_{crc}(t) = M_{crc}(0) \left[k_{x.c.} + \left(1 - 2\frac{a}{b} \right) \left(1 - 2\frac{a}{h} \right)^2 (1 - k_{x.c.}) \right]; \quad (8)$$

$$f = \frac{f_{(0)}}{k_{x.c.} + \left[\left(1 - 2\frac{a}{b} \right) \left(1 - 2\frac{a}{h} \right)^3 (1 - k_{x.c.}) \right]}; \quad (9)$$

Расчетом деградационных функций $M_u(t)/M_u(0)$; $M_{crc}(t)/M_{crc}(0)$ и $f_{ser}(t)/f_{ser}(0)$ установлено, что через 180 суток действия агрессивных сред произойдет: снижение M_u и M_{crc} соответственно на 2 и 13%; повышение прогибов f_{ser} на 16%.

Если нормировать значения коэффициента переноса D , то для оценки остаточного ресурса конструкции предлагается следующий алгоритм действий:

- инструментально определяем глубину (a) повреждения материала конструкции хлоридной агрессивной средой;
- по формуле (2) определяем расчетное время действия ионов хлора на конструкцию ($t = a^2/k(\omega)^2 D$);
- с учетом расчетного времени по формуле (6) оцениваем степень повреждения (относительное снижение прочности - $k_{x.c.}$) внешних слоев бетона, контактирующих с агрессивной средой;
- по значениям a и $k_{x.c.}$ определяем степень деградации конструкции (по деградационным функциям: несущую способность нормальных сечений $D(Mu)$; момент трещинообразования $D(Mcrc)$ и жесткость $D(Wu)$).

Расчетные значения функций деградации, соответствующие заданным значениям a/h приведены в таблице 3.

Расчет производился для балок серии C-1к с одиночным армированием и размерами поперечного сечения $b \times h = 12 \times 14$ см; $D = 0.1 \cdot 10^{-6}$ м²/час.

Таблица 3 – Расчетные значения функций деградации, соответствующие значениям a/h и $k_{х.с.}$, определенными экспериментально

№ п/п	a/h	$t = \frac{a^2}{0,16 D}$, час	$k_{х.с.} = \frac{1}{26 \cdot 10^{-6} t + 1}$	Деградационные функции		
				$M_u(7)$	$M_{crc}(8)$	$W_u(9)$
1	0.1	$0.12 \cdot 10^5$	0.77	0.98	0.89	0.86
2	0.2	$0.49 \cdot 10^5$	0.43	0.88	0.55	0.5
3	0.3	$1.1 \cdot 10^5$	0.26	0.77	0.30	0.278
4	0.4	$1.96 \cdot 10^5$	0.17	0.65	0.176	0.171
5	0.5	$3.1 \cdot 10^5$	0.11	0.54	0.11	0.110

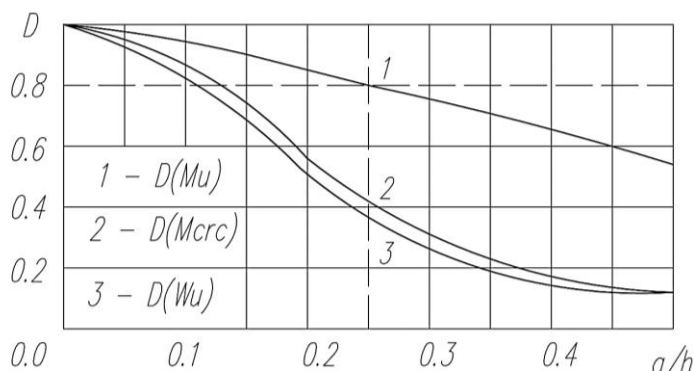


Рисунок 6 – Деградационные функции

Деградационные функции жесткости при изгибе определялись для балки, работающей без трещин.

Анализ показывает, что под действием хлоридной коррозии снижение момента образования трещин, жесткости при изгибе элемента, работающего без трещин, происходит более интенсивно, чем прочности нормальных сечений.

На наш взгляд это закономерно так как в первых двух случаях - прогибы и момент образования

трещин в большей мере зависит от изменения свойств бетона. Графики деградационных функций дают возможность оценивать ресурс конструкции. Если принять, что ремонтные работы необходимо производить после того как несущая способность изгибаемого элемента снизится на 20 %, то $D(M_u) = 0.8$. По графику функции $D(M_u)$ находим, что разрушение структуры произойдет на глубину $a/h=0.25$ через $t = \frac{a^2}{0.16D} = (0.25 \cdot 14)^2 \cdot \frac{10^{-4}}{0.16} \cdot 0.1 \cdot 10^{-6} = 0.765 \cdot 10^5$ час = 3187 сут = 8.75 лет ($NaCl$) и 3,8 года (HCl). Следовательно, через 8 лет ($NaCl$) и 3,5 года (HCl) эксплуатации в заданных условиях железобетонный элемент необходимо диагностировать и предложить варианты восстановительного ремонта.

Выводы

1. Результаты экспериментальных исследований показывают, что деградационные модели адекватно отражают особенности работы армобетонных конструкций в условиях действия агрессивных сред и дают возможность оценивать остаточный ресурс изгибаемых элементов.

2. Формирование расчетной модели на основе методов предельных состояний и фундаментальных законов физики и химии, описывающих кинетику взаимодействия агрессивной среды с материалом конструкции, обеспечивает преимущество расчетных методов, при условии достоверного определения глубинного показателя (a) и коэффициента химического сопротивления ($k_{х.с.}$).

3. Разработанные на основе фундаментальных законов действия и сохранения химически активных веществ, методы определения коэффициента химического сопротивления, ко-

эффициента переноса субстанции, дают возможность повысить достоверность определения основных параметров модели деградации: глубинного показателя; коэффициента химического сопротивления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, В. М. Инженерные методы нелинейной теории железобетона / В. М. Бондаренко, С. В. Бондаренко. – М.: Стройиздат, 1982. – 287 с.
2. Селяев В. П., Бондаренко В. М., Селяев П. В. Прогнозирование ресурса железобетонных изгибаемых элементов, работающих в агрессивной среде, по первой стадии предельных состояний. Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций // Сборник научных статей XX научно-методической конференции ВИТУ (29 марта 2016/ ВИСИТ) АМГО (ВИТУ). СПб. 2016. с. 94-99.
3. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. Бондаренко В.М, Колчунов В.И. 2004. 472 с.
4. Бондаренко В.М. К вопросу об оценке силового сопротивления железобетона повреждениям коррозионными воздействиями / В.М. Бондаренко, В.Н. Прохоров. // Изв. вузов, сер. Стр-во. 1998. №3. С.30-41.
5. Гузеев Е.А. Интегральный метод оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов в случае воздействия агрессивной среды и силовой нагрузки. / Е.А. Гузеев, В.М. Бондаренко, Н.В. Савицкий // Труды НИИЖБ. М.: Стройиздат, 1984. С.20-27.
6. Прочность и долговечность композиционных материалов, типа бетонов. Гусев Б. В. [Вестник КИГИТ](#). 2012. № 12-3 (30). С. 6.
7. Соломатов В. И., Селяев В. П., Соколова Ю. А. Химическое сопротивление материалов. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: РААСН, 2001. – 284 с.
8. Напряженно-деформированное состояние нагруженного и коррозионно-поврежденного железобетона в зоне наклонных трещин / В.И. Колчунов, М. С. Губанова // Научный журнал строительства и архитектуры. 2016. № 2 (42). С. 11-22.
9. Селяев В. П. Химическое сопротивление цементных бетонов действию сульфат-ионов / В. П. Селяев, Л. М. Ошкина, П. В. Селяев. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. — 150с.
10. Селяев В. П. Химическое сопротивление и долговечность строительных материалов, изделий, конструкций / В.П. Селяев, Т. А. Низина, В. Н. Уткина. — Саранск, 2003. — 47с.

Селяев Владимир Павлович,

академик РААСН, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой "Строительные конструкции"

E-mail: ntorm80@mail.ru

Селяев Павел Владимирович,

кандидат технических наук, доцент кафедры "Строительные конструкции"

E-mail: ntorm80@mail.ru

Алимов Марат Фатихович,

аспирант кафедры "Строительные конструкции"

E-mail: marat_alimov.91@mai.ru

Сорокин Евгений Вячеславович,

кандидат технических наук, доцент кафедры "Строительные конструкции"

E-mail: evssar@yandex.ru

V. P. SELYAEV, P. V. SELYAEV, M. F. ALIMOV, E. V. SOROKIN

ESTIMATION OF RESIDUAL RESOURCES OF REINFORCED CONCRETE BENDING ELEMENTS SUBJECTED TO THE ACTION OF CHLORIDE CORROSION

The results of experimental data on the work of concrete and reinforced concrete elements exposed to the action of aqueous solutions containing chlorine ions are presented. On the basis of the method of limiting states and kinetic laws of interaction, conservation of mass sorption, a design model is developed that allows to predict the design and residual life of bent elements. Features of the work of bent elements with composite reinforcement are considered.

Key words: *chemical resistance indicators, ultimate sorption capacity, chemical resistance coefficient, degradation model, reinforced concrete bending elements, degradation functions.*

BIBLIOGRAPHY

1. Bondarenko, V. M. Inzhenernyye metody nelineynoy teorii zhelezobetona / V. M. Bondarenko, S. V. Bondarenko. – M.: Stroyizdat, 1982. – 287 s.
2. Selyayev V. P., Bondarenko V. M., Selyayev P. V. Prognozirovaniye resursa zhelezobetonnykh izgibayemykh elementov, rabotayushchikh v agressivnoy srede, po pervoy stadii predel'nykh sostoyaniy. Defekty zdaniy i sooruzheniy. Usileniye stroitel'nykh konstruktsey // Sbornik nauchnykh statey XX nauchno-metodicheskoy konferentsii VITU (29 marta 2016/ VISIT) AMGO (VITU). SPb. 2016. s. 94-99.
3. Raschetnyye modeli silovogo soprotivleniya zhelezobetona. Bondarenko V.M, Kolchunov V.I. 2004. 472 s.
4. Bondarenko V.M. K voprosu ob otsenke silovogo soprotivleniya zhelezobetona povrezhdeniyam korroziionnymi vozddeystviyami / V.M. Bondarenko, V.N. Prokhorov. // Izv. vuzov, ser. Str-vo. 1998. №3. S.30-41.
5. Guzeyev Ye.A. Integral'nyy metod otsenki napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnykh elementov v sluchaye vozddeystviya agressivnoy sredy i silovoy nagruzki. / Ye.A. Guzeyev, V.M. Bondarenko, N.V. Savitskiy // Trudy NII ZHB. M.: Stroyizdat, 1984. S.20-27.
6. Prochnost' i dolgovechnost' kompozitsionnykh materialov, tipa betonov. Gusev B. V. Vestnik KIGIT. 2012. № 12-3 (30). S. 6.
7. Solomatov V. I., Selyayev V. P., Sokolova YU. A. Khimicheskoye soprotivleniye materialov. – 2-ye izd., pererab. i dopoln. – M.: RAASN, 2001. – 284 s.
8. Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye nagruzhennoy i korroziionno-povrezhdennoy zhelezobetona v zone naklonnykh treshchin / V.I. Kolchunov, M. S. Gubanova // Nauchnyy zhurnal stroitel'stva i arkhitektury. 2016. № 2 (42). S. 11-22.
9. Selyayev V. P. Khimicheskoye soprotivleniye tsementnykh betonov deystviyu sul'fat-ionov / V. P. Selyayev, L. M. Oshkina, P. V. Selyayev. – Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2013. — 150s.
10. Selyayev V. P. Khimicheskoye soprotivleniye i dolgovechnost' stroitel'nykh materialov, izdeliy, konstruktsey / V.P. Selyayev, T. A. Nizina, V. N. Utkina. — Saransk, 2003. — 47s.

V.P. Selyaev

Academician of the Russia Academy of Architectural and Construction Sciences,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the department "Building structures"
E-mail: ntorm80@mail.ru

P.V. Selyaev

Candidat of Science, Associate Professor of the department «Building structures»
E-mail: ntorm80@mail.ru

M.F. Alimov

Postgraduate of the department "Building structures"
E-mail: marat_alimov.91@mai.ru

E.V. Sorokin

Candidat of Science, Associate Professor of the department «Building structures»
E-mail: ntorm80@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ЖИЛЫХ ПРОСТРАНСТВ В УСЛОВИЯХ ТРОПИЧЕСКИХ СТРАН

Данная статья посвящена проблемам проектирования жилья в условиях тропических стран. Учет природных условий местности отличает традиционную архитектуру всех стран, особенно тех, что имеют неблагоприятные для человека климатические характеристики. Тропические страны отличаются изменчивым климатом с периодами различных экстремальных для человеческого организма показателей. Высокие температуры тяжело переносятся во влажном климате. Однако сухой жаркий климат также имеет свои недостатки. Увеличение комфортности пребывания человека в зданиях в условиях тропического климата в первую очередь должно решаться за счет продуманных планировочных решений. Эти решения имеют экономическую выгоду, они обеспечивают постоянную защиту от неблагоприятных факторов, не требующую постоянных дополнительных вложений.

Ключевые слова: *Функционально-планировочная структура, тропический климат, традиционное жилище, традиционная культура, жилищная ячейка, биоклиматическое проектирование, коридорно-секционные дома, галерейно-секционные дома.*

Жилые пространства занимают особое место в ряду общественных предпочтений. Человек проводит в данной среде около половины всей своей жизни, и поэтому архитектурные решения жилой среды влияют на его физическое и нравственное здоровье и в конечном счёте на гармоническое развитие в целом. В силу различных функциональных, бытовых, временных и других обстоятельств, мы, пользуясь архитектурными пространствами, становимся посетителями, клиентами, пациентами и т.д., а в жилом пространстве мы живём. И всё окружение, интерьер с оборудованием и т.д., отражает нашу сущность, миропонимание и мироощущение. Архитектура жилого пространства на любом иерархическом уровне должна отражать свою функцию, учитывать социально-экономические, демографические, климатические и другие особенности места строительства.

Отмеченные параметры жилых пространств разных уровней, формируются на стадии научных исследований, вариантного проектирования. И для архитектора, проектирующего для конкретного региона, местности и т.д., необходимо провести анализ традиционных методов, приёмов, оценки архитектурных решений и отобрать те, которые соответствуют современным требованиям комфортабельности и экономичности. Главную роль при этом играют методы анализа, отбора и оценки проектов жилых пространств, которые бы отвечали требуемому уровню качества.

Возрастающая значимость, исследуемой темы, требует уточнения в определении объекта науки о жилом пространстве и практики строительства, и использования не только традиционных творческих методов, но и количественных системных методов, а также возможностей информационных технологий. Объектом архитектурной науки о жилом пространстве, является не техническая система с соответствующими технико-экономическими критериями оценки, а система взаимосвязи и взаимовлияния населения и среды его обитания-экологическая система – «демоэкосистема» (от греческих слов *demos*-народ, население; *oikos*

– дом, жилище, родина), обеспечивающая условия жизнедеятельности человека и удовлетворения его физических и социальных потребностей.

Жилая среда является органической частью (подсистемой) экологической системы общества, удовлетворяющей его бытовые потребности.

Все планировочные решения корнями уходят в традиционную архитектуру. Они используют доступные природные ресурсы местности, поэтому могут быть применены в современной проектной практике. Основными планировочными средствами защиты от перегрева являются организация внутренних пространств, отсечение прямых солнечных лучей от попадания непосредственно на ограждающую поверхность, обеспечение хорошего проветривания для влажного климата и т.д. Необходима разработка алгоритма разработки выбора планировочного решения в зависимости от характера климатических воздействий в тот или иной период года.

Функционально-планировочная структура жилых пространств определяется большим количеством различных факторов. На протяжении длительного времени она формировалась под влиянием региональных традиций, которые в свою очередь во многом были обусловлены климатическими условиями местности.

Замбия расположена в южном тропическом поясе. Ее территории состоят главным образом из высоких плато и не имеют выхода к морю. Климат Замбии – тропический с двумя сезонами: дождливым и сухим, который в свою очередь подразделяется на сухой прохладный и сухой жаркий. Среднемесячная температура на протяжении большей части года остается достаточно высокой.

В настоящее время учет климатических особенностей региона имеет одно из решающих значений при проектировании жилья, поскольку позволяет создавать пространство, максимально комфортное для человека.

В условиях тропического климата в зданиях следует обеспечивать сквозное проветривание. Наилучшим вариантом является проектирование зданий с небольшой шириной корпуса и наличие значительных свободных пространств. При использовании однорядной планировки эффективность сквозного проветривания повышается.

Важным дополнением является веранда. Веранду обычно размещают с двух протяженных сторон здания. Функционально она дополняет жилые помещения и служит защитой стен от солнечного перегрева (исключается прямое попадание солнечных лучей на стену) и намокания во время дождей. Веранда имеет ширину порядка 1,5-2 м [2,с.7].

При разработке планировки жилого пространства особое внимание следует уделять ориентации помещений. Для стран с жарким климатом оптимальной является ориентация оси жилых зданий в направлении восток-запад. Таким образом, в жаркое время на длинную стену здания попадает минимальное количество прямых солнечных лучей.

Для создания благоприятных условий для проветривания следует учитывать направление господствующих ветров. Здание размещают перпендикулярно ветровому потоку, что обеспечивает максимальную продолжительность вентиляции за счет естественных условий, без применения механических устройств.

Для обеспечения проветривания квартир одним из наиболее эффективных планировочных приемов является организация пространства в двух уровнях. Наилучшие показатели получены при перепаде уровней в пол-этажа. При этом мы сохраняем удобную функциональную связь между помещениями и обеспечиваем необходимую циркуляцию воздуха внутри квартиры.

Под влиянием особых климатических условий были сформированы наиболее рациональные планировочные решения для жилых зданий различной этажности.

Для малоэтажного строительства характерно применение следующих композиционных приемов:

- развитие открытого, павильонного и блочного типов планировки;
- свободная расстановка объемов, часто на опорах;

- формирование узких протяженных объемов;
- сохранение небольшой ширины зданий;
- включение в здания широкого фронта помещений по фасаду;
- двусторонняя ориентация квартир;
- максимальное раскрытие во внешнюю среду;
- использование дополнительных (вспомогательных) помещений, оборудованных устройствами для защиты от солнечной радиации и дождя;
- использование принципа трансформации внешних ограждений (поворотные и раздвижные стеновые конструкции).

В многоэтажном строительстве наибольшее развитие получили следующие приемы:

- использование галерейного, секционно-галерейного, секционно-коридорного, башенного типов планировки;
- создание сквозных пространств в разных уровнях;
- формирование открытой пространственной структуры в интерьерах;
- использования трансформирующихся конструкций (внутренние перегородки, экраны, ширмы);
- устройство воздушных каналов по всей высоте здания;
- выделение помещений, связанных с повышенным производством тепла и влаги, в закрытую зону;
- вынесение открытых лестничных клеток за пределы основного объема здания;
- дополнение квартир открытыми пространствами – внутренними дворами, выходящими на южную сторону;
- использование террасных структур.

Указанные приемы позволяют создавать комфортный микроклимат в помещениях в условиях жаркого влажного климата.

В условиях жаркого сухого климата теплозащита обеспечивается за счет закрытого режима эксплуатации помещений и ограждающих конструкций с высоким термическим сопротивлением и тепловой инерцией. В жилых домах предусматриваются открытые внутренние озелененные дворы с фонтанами или водоемами. Зелень и вода создают условия для охлаждения и увлажнения воздуха. Также двор за счет своего расположения оказывается защищен от пыли [3, с. 135].

Современные тенденции проектирования жилья в странах с тропическим климатом основаны на сочетании национальных традиций и европейского опыта. Традиционное жилище Замбии представляет собой круглую в плане хижину с глиняными или плетеными стенами и конусообразной кровлей из камыша (Рис.1,2)[5].



Рисунок 1 - Дом улья Зулу, построенный из канатной решетки, соломы и деревянных полос.



Рисунок 2 - Восточно-африканское кочевое убежище из палочной рамы, покрытой люком.

Конструкция кровли предусматривает защиту от попадания на стену прямых солнечных лучей и дождя. Это достигается за счет больших свесов, под которыми устроена веранда.

Современные жилые постройки в деревнях имеют прямоугольную форму. При этом сохранилась традиция создания значительного выноса кровли и формирования по периметру дома веранды (Рис.3) [1, с. 29].

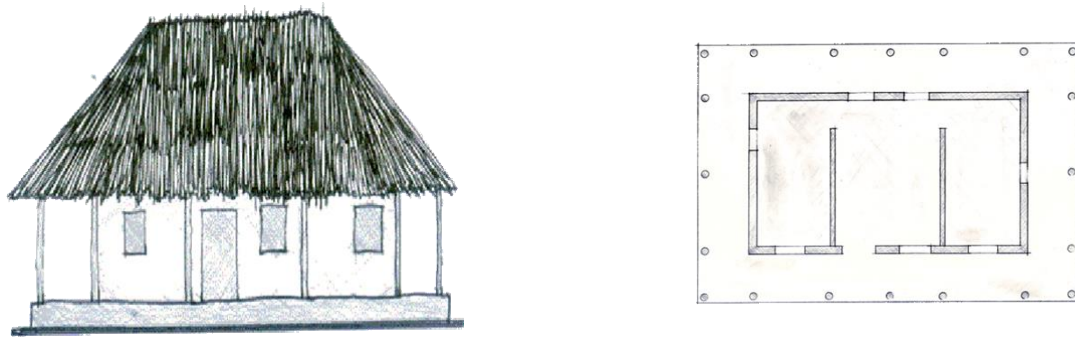


Рисунок 3 - Прямоугольный дом с четырёхскатной камышовой крышей

Колонизация привнесла в традиционную культуру Замбии черты урбанизма и европейскую традицию. Первые дома колонистов были мобильными и не имели веранд. В тот период мобильность была более важным требованием, чем соответствие климатическим условиям местности. С началом возведения стационарного жилья веранда становится его неотъемлемой частью. Первые кирпичные дома имели маленькую веранду, расположенную на углу дома. Затем общепринятыми становятся большие веранды. Они в функциональном плане выполняли роль гостиных, а также повторяли традиционный элемент жилой архитектуры в соответствии с условиями местного климата. Внутри дома располагались спальные комнаты и кухня (Рис.4) [6].

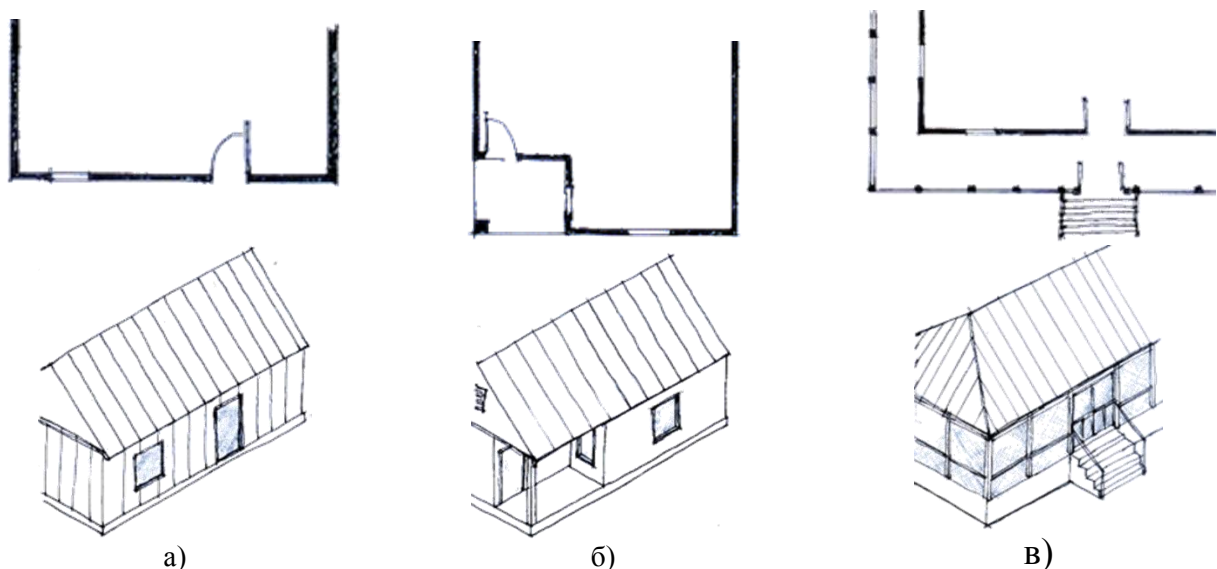


Рисунок 4 - Мобильный жилой дом без веранды (а); колониальный кирпичный дом с маленькой верандой (б); стандартный колониальный жилой дом более поздней постройки (в)

В настоящее время для несущих конструкций стал активно применяться монолитный железобетон, что позволяет увеличивать внутреннее пространство. Ограждающие конструкции выполняют из обожженного кирпича либо мелких блоков из легкого бетона (Рис.5).



Рисунок 5 - Дом с несущих конструкций из бетона

Усложнение планировки жилой ячейки определяется расширением функциональной программы. Увеличилось количество и разнообразие помещений в доме. Преобладают планировочные схемы смешанного и комбинированного типов. Значительную роль в них играют открытые пространства. В зависимости от типа жилья это могут быть открытые террасы, террасы с бассейном, приквартирные дворики, рекреационные зоны и т.д. (Рис.6).



Рисунок 6 - Типы жилья с открытой террасой, террасой и бассейном

В настоящее время еще одним актуальным направлением в архитектуре стало энергоэффективное проектирование. В нашем случае речь идет о пассивном или биоклиматическом проектировании. Это проектирование жилища, при котором создание комфортных микроклиматических условий достигается за счет использования архитектурных средств, без использования технического оборудования [4].

При биоклиматическом проектировании мы опять же обращаемся к традиционным архитектурным приемам, чтобы минимизировать теплопоступления, удалять излишнее тепло и влагу.

Для стран с жарким климатом это достигается путем выполнения трех основных планировочных условий:

- сведение к минимуму поступление тепла в помещение – минимальный размер окон, их затенение, компактная форма здания;

- удаление теплого и влажного воздуха за счет определенного размещения проемов и их размеров, создания дополнительных воздушных каналов и шахт – естественная вентиляция основана на обеспечении разницы давлений

- создание дополнительного охлаждения – за счет внутренних дворов и ветровых шахт, подземных каналов, озеленения и обводнения.

При биоклиматическом проектировании грамотные архитектурные решения позволяют добиться нормативного охлаждения воздуха. Интересным решением является использование подземных каналов, которые обеспечивают поступление дополнительного холодного воздуха. Ветровые шахты пристраивают к зданиям для того, чтобы иметь возможность улавливать ветровые потоки, особенно в условиях плотной застройки, и направлять его в помещения.

Для регулирования внутреннего микроклимата жилища с помощью распределения и движения теплого и холодного воздуха за счет разницы давления необходимо продумать его внутреннюю планировку, размеры и форму помещений. В жарком климате помещения должны иметь достаточную высоту, чтобы скопление горячего воздуха находилось выше уровня роста человека. Из этой зоны горячий воздух удаляется с помощью вытяжных каналов. Форма жилища при этом должна быть компактная. Поэтому шалаш и хижина имели форму, близкую к полусфере.

Еще одним способом адаптации к условиям жаркого климата является заглубление жилища в землю. Из истории архитектуры можно вспомнить примеры землянок, подземных жилищ, скальных домов. Заглубление в землю является способом защиты от перегрева и получения дополнительной прохлады от каменной породы. Этот же принцип используется и при проектировании заглубленных в грунт шахт и каналов для охлаждения воздуха.



а



б



в

Рисунок 6 - Пример здания с обозначением всех процессов а) жилой дом в Замбии; б) Библиотека в Бурунди; в) школа в Буркина-Фасо

Выводы

При разработке планировочных решений жилых зданий необходимо предусматривать защиту ограждающих конструкций от прямых солнечных лучей во избежание перегрева, обеспечение максимально полноценного проветривания, защиту стен от намокания. Одним из наиболее перспективных типов планировки является галерейный. В домах данного типа квартиры имеют двухстороннюю ориентацию (обеспечение сквозного проветривания), вход в квартиры обеспечивается непосредственно с улицы и галереи, открытые галереи дают защиту от солнца, создают связь с природным окружением и выполняют функцию общественной зоны. Галереи располагаются с южной стороны дома и могут активно использоваться в любое время года. В домах этого типа целесообразно размещать одно- и двухкомнатные квартиры. В торцах зданий возможно трех- и четырехкомнатные квартиры.

В коридорно-секционных и галерейно-секционных домах проектируют трех- и четырехкомнатные квартиры, имеющие два уровня. Таким образом, становится возможным обеспечение сквозного проветривания и инсоляции.

В домах точечного типа возможно размещение всех типов квартир. Планировка таких домов может быть компактной, с поэтажной группировкой квартир вокруг лестнично-лифтового узла; усложненной, с использованием поэтажных коридоров. Кроме квартир такие дома должны иметь рекреационные зоны с хорошим проветриванием. Они являются общественным пространством (аналог традиционных галерей) и выполняют функцию дополнительной защиты здания от перегрева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акуфуна Кабанго Биоклиматическая архитектура» в тропических странах / Кабанго Акуфуна // Архитектурные исследования. – Воронеж: Воронежский ГТУ, 2017. - № 3(11). - С. 14-25.
2. Акуфуна Кабанго. Ретроспективный анализ эволюции народной архитектуры Замбии // Архитектурные исследования. – Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2016. - № 2. – С. 27-36.
3. Биркая К.А. Особенности формирования объемно-планировочной структуры жилых домов повышенной этажности в условиях жаркого и жарко-влажного климатов Закавказья. – Москва, 1974.
4. Бунаира Махмуд. Типологические особенности жилых домов городского типа на примере Северного Алжира. – Канд. дисс., - СПб: СПбГА-СУ, 1995.-211 с
5. Ватин, Н.И. – Системы вентиляции жилых помещений многоквартирных домов / Ватин Н.И. , Самопляс Т.В. // Инженерно-строительный институт СПбПУ Петра Великого. - Санкт-Петербург 2004 . - С. 66.
6. Воронина, В. Л. Опыт проектирования зданий в странах тропического климата. - М., 1966.
7. Воронина, В. Л. Современная архитектура стран тропической Африки. - М., 1973.
8. Енин, А.Е. Экологические материалы при формировании устойчивой жилой среды сельских поселений (проектные и технологические аспекты строительства из самана)/ А.Е. Енин, Н.В. Гриценко // Архитектурные исследования. – Воронеж: Воронежский ГТУ, 2017. - № 1(9). - С. 63-70.
9. Енин, А.Е. Исследование исторической усадьбы в общей системе знаний о жилье [Текст]/ Молодых М.С. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. - №1 (367). - С. 285-289.
10. Енин, А.Е. Понятие эксперимента в архитектуре как деятельности, направленной на гармонизацию взаимосвязи и взаимовлияния населения и среды его жизнедеятельности / А.Е. Енин // Градостроительство.- 2012.- № 4 С. 22-29
11. Ли Расмей Принципи формування архітектури городських житлових будівель в сучасних умовах Камбоджі (на прикладі міста Пномпеня): автореф. дис. ... канд. арх. (18.00.02). – М.: 2009. – 26 с.
12. Максимова, М.В. Объемно-планировочные решения малоэтажных жилых зданий в условиях жаркого климата / М.В. Максимова, С.О. Мельникова // Вестник СибАДИ. – 2017. – Вып. 3 (55). - С. 132-137.
13. Пипуныров, П.В - Фактор местности в архитектуре биоклиматического малоэтажного жилого здания / П.В Пипуныров // ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет».

14. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23 02-2003. - М.: Минрегион России от 30 июня 2012. - 96с.
15. Хезла, А. Основные факторы, влияющие на формирование биоклиматических зданий / А. Хезла // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. - Нижний Новгород, 2015. - № 2. - С. 115-123.
16. Хезла, А. Приемы обеспечения комфорта в энергоэффективных зданиях в условиях жаркого аридного климата / А. Хезла // Жилищное строительство. - 2015. - № 10. - С. 1-4.
17. Штоль, Т.М. Строительство зданий и сооружений в условиях жаркого климата: учеб. пособие / Т.М. Штоль. - М.: Стройиздат, 1984. 349 с.
18. Daniel Zebbron. Traditional Zambian Architecture (A study of Vernacular Architecture) // Behance. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.behance.net/gallery/1566985/Vernacular-Architecture-in-Zambia> (дата обращения 12.11.2017).
19. David Adjaye. African Metropolitan Architecture. - 2011. - 568 p.
20. Richard W. Hull. African Cities and Towns before the European Conquest. - 1977. - 160 p.
21. Sharne Algotsson. African Style: Down to the Details. - 2000. - 176 p.
22. Suzanne Preston Blier, Jan Morris. Butabu: Adobe Architecture of West Africa. - 2003. - 216.
23. Yenin A.E., Liventceva A.V. System approach in urban planning. History. General foundation. Objects of system researches. // ISSN: 2542-0526. Russian Journal of Building Construction and Architecture. - 2017. - p.91-101.

Акуфуна Кабанго

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж
Аспирант, кафедра основ проектирования и архитектурной графики
E-mail: kabango_akfuna@hotmail.com

Енин Александр Егорович

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж
Заведующий кафедрой основ проектирования и архитектурной графики
E-mail: a_yenin@mail.ru

AKUFUNA KABANGO, A.Ye. YENIN

**FEATURES FUNCTIONAL PLANNING STRUCTURE
OF THE LIVING SPACES IN THE MIDST OF TROPICAL COUNTRIES**

This article is devoted to the problems of designing housing in tropical countries. Taking into account the natural conditions of the locality distinguishes the traditional architecture of all countries, especially those that have unfavorable climatic characteristics for humans. Tropical countries are characterized by a changing climate with periods of various extreme for the human body indicators. High temperatures are difficult to tolerate in a humid climate. However, the dry hot climate also has its drawbacks. Increasing the comfort of a person's stay in buildings in a tropical climate should first of all be addressed through thoughtful planning decisions. These solutions have an economic advantage, they provide a permanent protection against adverse factors that do not require permanent additional investments

Keywords: Functional-planning structure, tropical climate, traditional dwelling, traditional culture, living cell, bioclimatic projection, corridor-sectional houses, gallery-sectional houses

REFERENCES

1. AkubunKabango "bioclimatic architecture" in tropical countries / KabangoAkufun // Architectural Studies. - Voronezh: Voronezh State Technical University, 2017. - № 3 (11). - P. 14-25.
2. AkufunaCabango. A retrospective analysis of the evolution of Zambia's folk architecture // Architectural Studies. - Voronezh: Voronezh State Agricultural Academy, 2016. - № 2. - P. 27-36.
3. Birkaya K.A. features of the formation of the volume-planning structure of residential buildings of high storeys in the conditions of hot and hot-humid climates of Transcaucasia. Moscow. 1974.

4. Bunair Mahmud. Typological features of residential buildings of urban type on the example of Northern Algeria. - Cand. Diss, SPb: SPbGA-SU, 1995.-211 s
5. Vatin N.I. - Ventilation systems for residential buildings in multi-apartment buildings / Vatin N.I. ,Samoplyas T.V. // St.Petersburg Engineering and Construction Institute of Peter the Great. - St. Petersburg 2004. C. 66.
6. Voronina VL Experience in designing buildings in countries of the tropical climate. M., 1966.
7. Voronina VL Modern architecture of the countries of tropical Africa. M., 1973.
8. Enin AE, Gritsenko NV. Ecological materials in the formation of a stable residential environment of rural settlements (design and technological aspects of construction from an adobe) / A.E. Enin, N.V. Gritsenko // Architectural Studies. - Voronezh: Voronezh State Technical University, 2017. - No. 1 (9). - P. 63-70.
9. Enin A.E. The study of the historical estate in the general system of knowledge about housing [Text] / Modykh M.S. // News of higher educational institutions. Technology of the textile industry. 2017, No. 1 (367). Pp. 285-289.
10. Enin A.E. The concept of experiment in architecture as an activity aimed at harmonizing the interconnection and mutual influence of the population and the environment of its life activity / Yenin A.E. // Town-planning. - 2012.- № 4 P. 22-29
11. Lee Rasmey Principles of the formation of the architecture of urban buildings in modern Cambodia (on the example of the city of Phnom Penh): author's abstract. dis. ... can.arch. (18.00.02). - Moscow: 2009. - 26 with.
12. Maximova MV, Melnikova S.O. Volume-planning solutions of low-rise residential buildings in hot climate conditions // VestnikSibADI. - 2017. - Issue. 3 (55). - P. 132-137.
13. Pipunirov PV - Terrain factor in the architecture of a bioclimatic low-rise residential building / P.V. Pipunirov // Saratov State Technical University.
14. SP 50.13330.2012 Thermal protection of buildings. Updated version of SNiP 23 02-2003. - M.: Ministry of Regional Development of Russia on June 30, 2012. - 96s.
15. Hesla, A. The main factors affecting the formation of bioclimatic buildings / A. Hesla // Privolzhsky Scientific Journal / Nizhegor. state. architects.-Builds. un-t. - Nizhny Novgorod, 2015. - № 2. - P. 115-123.
16. Hesla, A. Methods of providing comfort in energy-efficient buildings in a hot arid climate / A. Hesla // Housing. - 2015. - No. 10. - C. 1-4.
17. Stol, T.M. Construction of buildings and structures in a hot climate: training. allowance / T.M. Shtol. - Moscow: Stroiizdat, 1984.349 p.
18. Daniel Zebron. Traditional Zambian Architecture (A study of Vernacular Architecture) // Behance. - [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.behance.net/gallery/1566985/Vernacular-Architecture-in-Zambia> (circulation date 12.11.2017).
19. David Adjaye. African Metropolitan Architecture. - 2011. - 568 r.
20. Richard W. Hull. African Cities and Towns before the European Conquest. - 1977. - 160 rubles.
21. SharneAlgotsson. African Style: Down to the Details. - 2000. - 176 r.
22. Suzanne Preston Blier, Jan Morris. Butabu: Adobe Architecture of West Africa. - 2003. - 216.
23. Yenin A.E., Liventceva A.V. System approach in urban planning. History. General foundation. Objects of system researches.// ISSN: 2542-0526. Russian Journal of Building Construction and Architecture. - 2017. - p.91-101.

Akufuna Kabango

Voronezh State Technical University, Voronezh
Postgraduate Student, Department of Basics of Design and Architectural Graphics
E-mail: kabango_akfuna@hotmail.com

A. Ye. Yenin

Voronezh State Technical University, Voronezh
Chairholder foundations of design and architectural graphics,
E-mail: a_yenin@mail.ru

БУЛГАКОВ А.Г., БУЗАЛО Н.С., ЕРМАЧЕНКО П.А.

ФОТОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АРХИТЕКТУРНЫЕ ОБОЛОЧКИ ЗДАНИЙ БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМЫХ ГОРОДОВ И ПОСЕЛЕНИЙ

В статье рассматриваются вопросы использования фотореакторов с растущими водорослями как элемента урбанистической структуры. Использование фотобиореакторов из микроводорослей позволяет решать множество задач: получение биотоплива третьего поколения, утилизация углекислого газа, дезинфекция сточных вод, регенерация кислорода и очистка воды от питательных веществ. Была использована мультиагентная система для того, чтобы выявить наиболее эффективную городскую стратегию для местных фотобиологических заводов по обработке. Исследование направлено на решение многомерной оптимизационной задачи, описывающей механизм кластеризации в городских районах подвижных клеточных автоматов, в соответствии с законами формирования экологических ниш в природе. Предлагается выполнять основные технологические узлы из полупрозрачной мембраны. Фотореакторы с водорослями предлагается размещать на архитектурной оболочке здания. Форма построения оптимизирована с использованием генетического алгоритма.

Ключевые слова: фотореактор на основе микроводорослей, обеззараживание сточных вод, параметрическая оптимизация, генетический алгоритм, мультиагентная система

Одной из самых больших проблем растущих мегаполисов является утилизация органических отходов. Согласно опубликованным докладом «Всемирной программы оценки водных ресурсов» (WWAP) [1], сейчас более 1,2 млрд. людей живут в условиях постоянного дефицита пресной воды, и около 2 млрд. страдают от него регулярно. Продолжающаяся урбанизация усугубляет ситуацию, поскольку городские жители значительно более чувствительны к нехватке воды. В следующие несколько десятилетий ожидается, что городское население вырастет на 1,8 миллиарда человек (по сравнению с 2005 годом) и составит 60% всего населения мира. Около 95% этого роста составят жители развивающихся стран, в которых темпы строительства централизованных очистных сооружений не поспевают за ростом городского населения.

Существующие системы утилизации отходов городов ориентированы на использование протяжённых канализационных сетей, что связано с колоссальными потерями воды, а также больших площадей очистных сооружений, которые деформируют естественные ландшафты. А учитывая положительную динамику темпов высотного строительства в современных городах, использование централизованных систем водоснабжения приводит к чрезмерному перерасходу электроэнергии на насосное оборудование. В развитых странах 2-3% всей потребляемой электроэнергии тратится на эксплуатацию очистных сооружений. Поэтому локальные системы очистки сточных вод является оптимальным решением, как для удалённых коттеджных посёлков, так и для небоскребов.

Выше перечисленные негативные факторы в целом присущи для крупных мегаполисов, но в развивающихся странах это проблема наиболее актуальна, поскольку там по экономическим причинам нет никакой возможности для организации централизованного сбора и очистки сточных вод. Мы представляем альтернативный подход организации локальных очистных сооружений интегрированных в плотную городскую застройку. В работе [2] было описана концепция фотобиологических очистных сооружений. Данное исследование отталкивалось от успешного опыта проектирования закрытых биологических систем экологического жизнеобеспечения, которые в 60-х 80-х годах прошлого века изначально создавались для длительных космических полетов [3]. Для систем такого типа одной из основных проблем являлось высокое энергопотребление, что сдерживало их внедрение на космических станциях. Однако, в земных условиях культивирование микроводорослей на очистных сооружениях канализации позволяет за счёт производства биотоплива третьего поколения обеспечить их энергонезависимость.

Содержащиеся в сточных водах соединения азота и фосфора являются жизненно необходимыми элементами для роста микроводорослей. В ближайшее время значительные объёмы фосфорных удобрений потребуются для обеспечения нужд растущего биоэнергетического сектора экономики. Однако, в отличие от соединений азота, синтезируемых из атмосферного воздуха, фосфорные соединения можно только добывать. В тоже время, истощение планетарных запасов фосфора является одной из наиболее серьёзных угроз продовольственной безопасности человечества. По разным оценкам его запасов осталось на 30-80 лет. Однако, сейчас около половины используемого фосфора безвозвратно теряется. Эти потери в основном связаны с эрозией и выщелачиванием почв (20%), а также неэффективной переработкой сточных вод и биоразлагаемых отходов (30%) [4].

Имеющиеся в открытой печати литературные данные подтверждают целесообразность использования микроводорослей для очистки сточных вод с целью производства биотоплива третьего поколения, что позволяет производить на порядок больше энергии по сравнению с системами, работающими на избыточном активном иле. По мнению многих исследователей, культивирование микроводорослей являются одним из наиболее перспективных направлений создания самодостаточных бисферосовместимых городов. На данный момент существует несколько проектов использующих подобные технологии.

Испанская фирма Aqualia являющаяся 3-ей по величине в мире водопроводной компанией реализует проект All-Gas, в рамках которого планируется выращивать водоросли на канализационных очистных сооружениях с целью производства дизельного топлива для муниципального транспорта. Проект стоимостью в 15,7 миллионов долларов, и занимающий 10,5 гектаров земли, уже в 2015 году планируют вывести на проектную мощность. По крайней мере, ещё 300 небольших городов Испании рассматривают возможность строительства подобных сооружений [5].

Первым в мире прототипом жилого дома, который по заверения разработчиков на 50% покрывает своё энергопотребление за счёт водорослей, выращиваемых непосредственно на фасаде самого здания, является проект BIQ House, представленное на международной выставке Hamburg International Building Exhibition 2013. Данный проект является совместной разработкой международной дизайнерской компании Agur, немецкой консультационной компании Strategic Science Consultants (SSC) и австрийской архитектурной компании Splitterwerk Architects. С солнечной стороны фасада здания с целью обеспечения энергетических установок биомассой установлены реакторы с микроводорослями. Они также позволяют использовать избыточную солнечную энергию в системе отопления. К тому же в жаркий период года прозрачные панели с водорослями защищают внутренние помещения от чрезмерного нагрева [6].

Французское архитектурное бюро X-TU при поддержке лаборатории CNRS "Gepea" из Университета Нанта запустило проект "Symbio2". На первом этапе эксперимента предусматривается установка фотобиореакторов на фасаде здания в городе Сен-Назер. Затем, основываясь на результатах полученных исследований, планируется монтаж реакторов на мусоросжигательном заводе Alcéade Nantes. Предполагается, что выделяемые при сжигании мусора тепло и диоксид углерода обеспечат оптимальные условия для культивирования микроводорослей [7].

Фотобиореакторы, по своей сути, играют роль солнечных панелей, преобразующих солнечную радиацию в энергию. Однако, при изготовлении конструкций из стекла и стали, установка фотобиореакторов обходится дороже чем фотогальванических элементов. Существенно снизить цену фотобиореакторов можно за счёт использования недорогих светопрозрачных плёнок, что было реализовано в проекте OMEGA (от Offshore Membrane Enclosure for Growing Algae), разработанном в Исследовательском центре Эймса (Моффед-Филд, Калифорния, США), при участии NASA. Данная технология предусматривает выращивания пресноводных водорослей в фото-биореакторах, которые представляют собой прозрачные гибкие пластиковые трубки, плавающие на морском шельфе. В процессе роста водоросли очищают стоки, выделяя при этом кислород, а избыточная биомасса отбирается и перерабатывается в биотопливо. В настоящее время данные фотобиореакторы испытываются в Сан-Франциско; на них же отрабатываются попутные технологии — в частности совместное выращивание водо-

рослей с культивированием мидий. На создание проекта OMEGA авторов вдохновили замкнутые системы жизнеобеспечения для длительных космических полётов, используя уникальный опыт создания которых, разработчики стремятся уменьшить потенциальные технические риски при строительстве крупно-масштабных сооружений на Земле [8].

В рамках Milan Design Week 2014 были представлены модульные строительные блоки Urban Algae Conore, изготовленные из прозрачной тефлоновой плёнки (ETFE), с интегрированными фотобиореакторами. Разработанная ecoLogic Studio архитектурная оболочка, выполненная из данных блоков, будет построена к международной выставке Expo Milano 2015 для итальянского павильона. Данное инженерное сооружение сможет производить такое же количество кислорода, что и четыре гектара леса и почти 150 кг биомассы микроводорослей в день [9].

Фотобиологические очистные сооружения, интегрированных в архитектурную оболочку здания позволяют: получать биотопливо третьего поколения из микроводорослей, утилизировать диоксид углерода, очищать и обеззараживать сточные воды, рационально перерабатывать соединения фосфора, использовать солнечную радиацию в системах отопления и адаптивного освещения. Для экономии полезной площади здания основные технологические узлы фотобиологических очистных сооружений предложено вынести на фасад здания, выполнив их в виде гидропневматической системы из светопроницаемой мембраны (ETFE). Данное инженерное решение может быть интегрировано в уже существующие очистные сооружения, либо непосредственно в городскую застройку, поскольку за счёт рекуперации диоксида углерода и изготовления герметичной светопроницаемой архитектурной оболочки санитарная зона вокруг сооружений может быть значительно сокращена. На рисунке 1 показан возможный вариант конструкционного решения для локальных очистных сооружений.

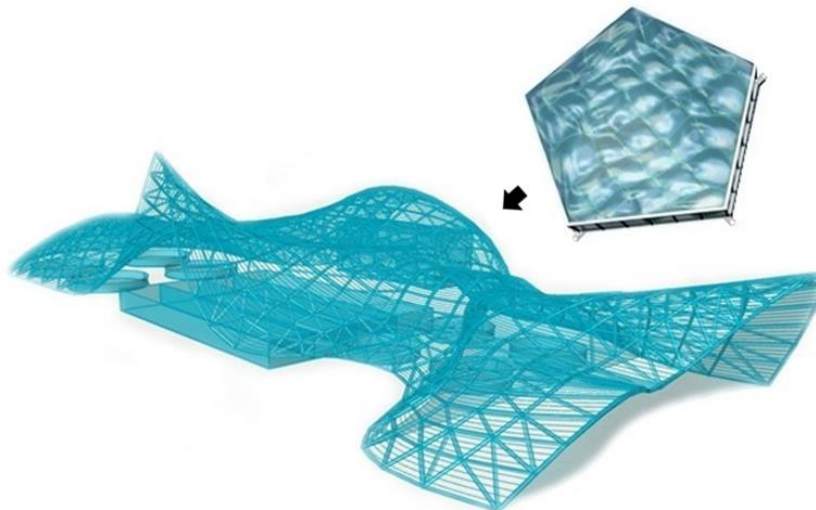


Рисунок 1 – Архитектурная оболочка для установки фотобиореакторов

Мы ориентируемся на разработку малых очистных сооружений, предназначенных для 20-30 человек. Основное отличие нашей системы является высокая степень закрытости потоков веществ. Таким образом, самая ответственная часть проекта состоит в том, чтобы сбалансировать все технологические процессы. Эта задача решается посредством использования достаточно точной математической модели фотобиологических очистных сооружений, основанной на нестационарных дифференциальных уравнениях, описывающих законы сохранения вещества и энергии в объёме основных сооружений. В дальнейшем предложенная математическая модель может быть применена в качестве основы для автоматизированной системы управления.

Параметрический подход к проектированию инженерных конструкций является наиболее подходящим для создания урбанизированных объектов, отвечающих принципам биосферной совместимости. В этом случае поиск оптимальных решений, основывается на прототипировании многофакторной нелинейной системы, а процесс генерирования проекта подобен вы-

ращиванию живого организма, за счёт использования различных алгоритмов оптимизации позволяющих решать в автоматизированном режиме сложные задачи формообразования. Например, обеспечить максимальную эффективность использования естественного освещения. Параметрические методы также позволяют автоматизировать многие строительные процессы, что должно положительно сказаться на стоимости строительства фотобиологических очистных сооружений. При этом дизайн архитектурной оболочки, полученный в результате использования алгоритмов параметрической оптимизации строительных конструкций, гармонично вписывается в природные ландшафты и имеет эстетически привлекательный внешний вид.

Архитектурные мембрана выполненные из ETFE (этилен-тетра-фтор-этилен) выдерживают перепад температуры от -80°C до 155°C . Эти оболочки прозрачны и обладают высокими теплозащитными свойствами. Они инертны к щелочной и кислотной среде и не теряет своих химических свойств в течение всего срока службы (примерно 25 лет). Благодаря антиадгезионным свойствам и очень гладкой поверхности мембран, они самоочищаются под действием дождя и снега. Это свойство является особенно ценным, учитывая склонность фотобиореакторов к биообрастанию.

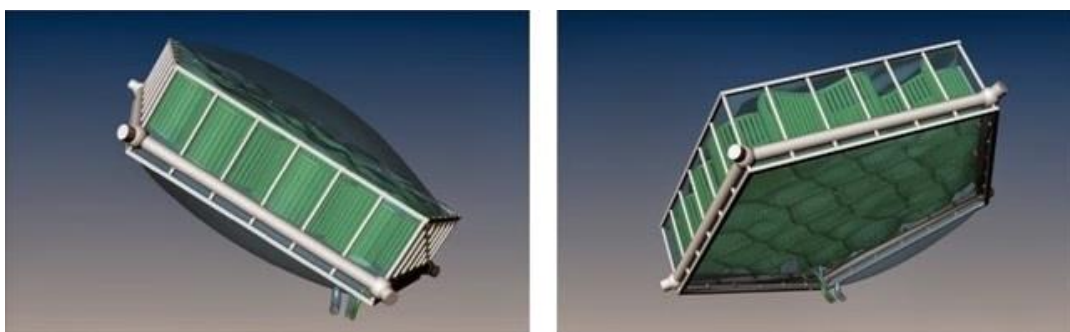


Рисунок 2 – Модульные строительные блоки с интегрированными фотобиореакторами

На эффективность работы фотобиологических очистных сооружений влияет сочетание многих внешних факторов, таких как: величина доступной солнечной радиации, объём биогенных элементов, поступающих с органическими отходами, наличие источников диоксида углерода, количество потребителей тепловой энергии и др., распределение которых в городской среде является неоднородным и зачастую наличие одного фактора исключает присутствие других.

Использование инструмента подвижных клеточных автоматов позволяет решить многомерную задачу привязки проектируемых сооружений к существующей городской застройке. Данный алгоритм предложено реализовать с помощью рекуррентной схемы (рис. 3), которая описывает поведение различных клеточных автоматов с учётом влияния нескольких неравномерно распределённых в городской среде факторов [10].

Для формирования кластеров из подвижных клеточных автоматов сделана попытка описания их поведения закономерностями характерными для природных экологических ниш. Принцип алгоритма сводится к следующему. Каждый фактор представлен на отдельной монохромной карте, где более яркий цвет соответствует более интенсивному воздействию. Важно отметить, что для различных задач оптимальными является различные интенсивности одного и того же фактора, и далеко не всегда максимальные. Подвижные клеточные автоматы (агенты 1-го порядка) при благоприятном сочетании факторов внешне среды замедляются. В противном случае их скорость увеличивается. Таким образом, они концентрируются в областях, где факторы среды принимают оптимальные значения. В тех местах, где концентрация подвижных автоматов превышает пороговый предел, возникают неподвижные агенты 2-го порядка, представляющий из себя прообразы будущих инженерного сооружения. Эти агенты способны, в свою очередь, изменять интенсивность факторов местности. Время жизни агентов первого порядка ограничено, однако, оно может изменяться в зависимости от концентрации в их окрестности агентов 1-го порядка.

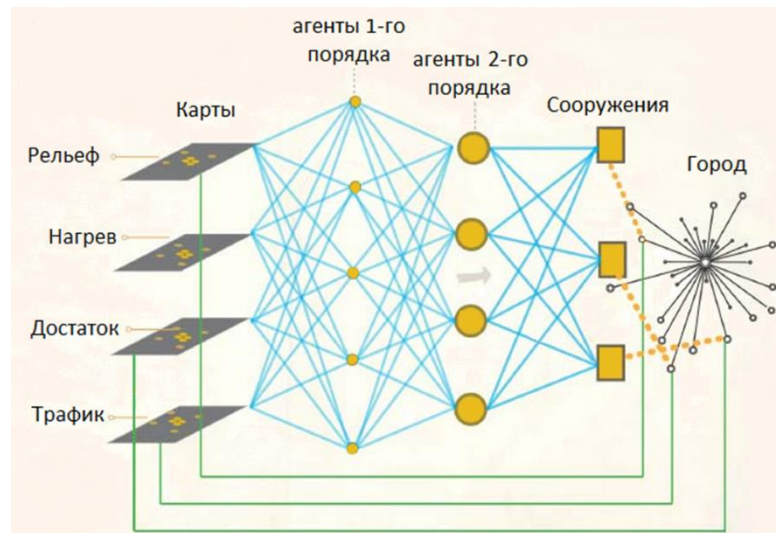


Рисунок 3 – Рекуррентная схема расчёта локализации сооружений

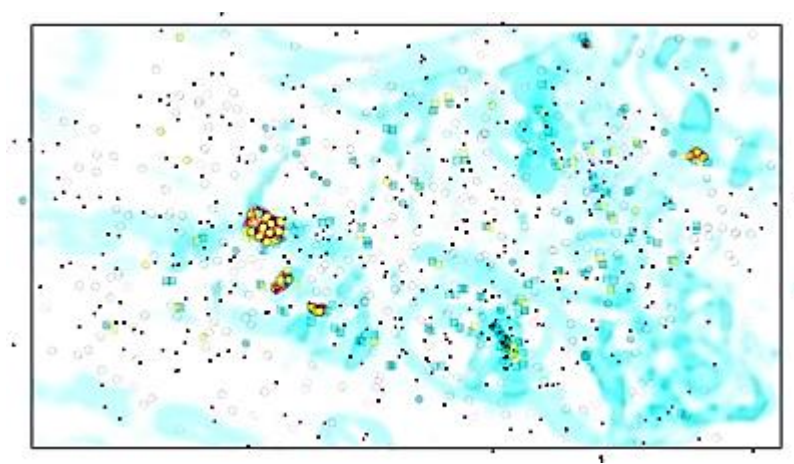


Рисунок 4 – Пример кластеризации подвижных клеточных автоматов

Таким образом, используя данный подход, становится возможным определить локализацию фотобиологических очистных сооружений в местах, где обеспечивается благоприятное сочетание всех ключевых факторов. После того как была определена оптимальная локализация фотобиологических очистных сооружений в масштабе городской застройки, необходимо принять во внимание отбрасываемые окружающими зданиями тени, что позволит наиболее эффективно интегрировать фотобиологические очистные сооружения в существующую городскую среду.

Микроводорослями для фотосинтеза максимально используется только 5% солнечной радиации, а основная часть идет на нагрев. Чтобы избежать критического перегрева, который смертелен для живых организмов форма архитектурной оболочки была оптимизирована с помощью генетического алгоритма. С этой целью использовался плагин Heliotrope, предоставляющий собой набор геометрических инструментов солнечного анализа для среды программирования Rhino / Grasshopper. Он включает в себя параметрические компоненты расчета солнечных векторов для точно определённой даты, времени и места. Гелиотроп является очень точным инструментом, потому что использует геометрический анализ вместо анимации. Это делает его очень полезным инструментом интерактивного проектирования параметрической оптимизации. На рисунке 5 представлены варианты расчёта инсоляции не оптимизированной архитектурной оболочки.

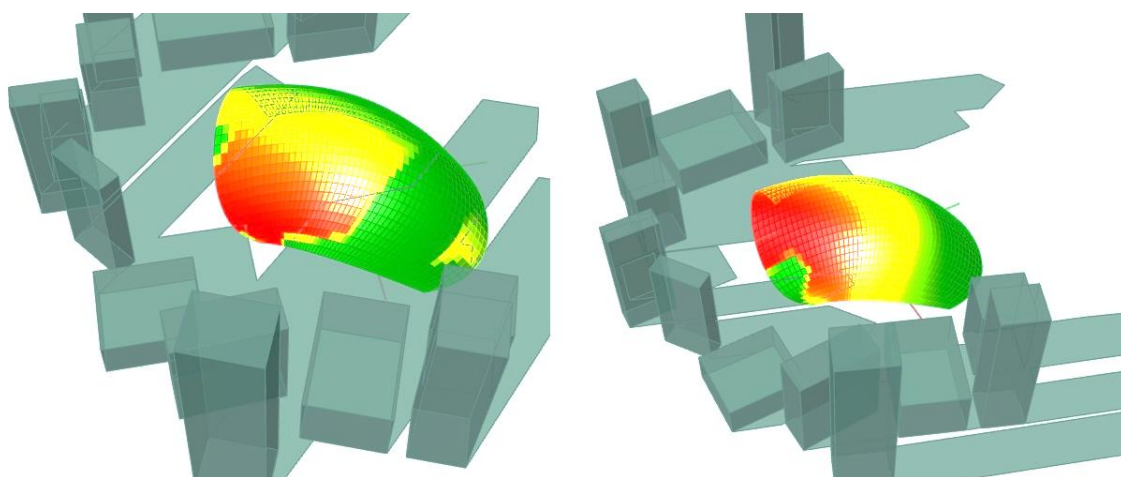


Рисунок 5 – Расчёт инсоляции архитектурной оболочки до оптимизации

В качестве целевой функции оптимизации в генетическом алгоритме был использован интегральный прирост биомассы в течение суток учитывающий изменении суточной и годовой инсоляции. Скорость роста микроводорослей гиперболически зависела от внутренних концентраций биогенных элементов (модель Друпа) освещенности и температуры.

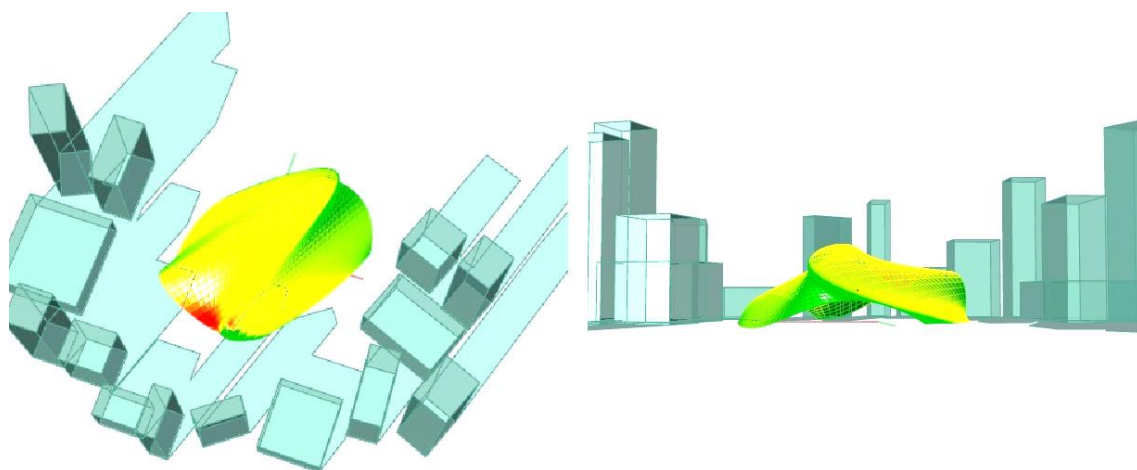


Рисунок 6 – Оптимизированная фотобиологическая архитектурная оболочка

Культивирование микроводорослей может перевернуть сферу очистки сточных вод. То, что некогда считалось побочным продуктом жизнедеятельности города, теперь может стать ценным ресурсом для обеспечения биосферной совместимости, поскольку соединения азота и фосфора, содержащиеся в сточных водах, являются необходимыми ресурсами для производства биотоплива третьего поколения из микроводорослей. Другими исследователями ранее уже была показана возможность за счёт выращивания микроводорослей на порядок повысить объём метана вырабатываемого из биомассы микроорганизмов, образующихся на канализационных очистных сооружениях. В данной же работе рассмотрены вопросы интеграции фотобиологических очистных сооружений непосредственно в городскую застройку. Важно отметить, что архитектурная оболочка фотобиологических очистных сооружений, полученная в результате параметрической оптимизации, представляет собой не просто наиболее эффективный компонент коммунальной инфраструктуры, но и современный арт-объект, позволяющий привлечь внимание к вопросам защиты окружающей среды.

В дальнейшем мы планируем в предложенном алгоритме оптимизации более детально учесть влияние рассеянного и отражённого света, а также спектрального состава излучения, поскольку это имеет ключевое значение для эффективности процессов фотосинтеза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. United Nations World Water Assessment Programme (WWAP) Reports. UN-Documentation Centre on Water and Sanitation. - URL: http://www.zaragoza.es/ciudad/medioambiente/onu/en/listadoPer_Onu?&titulo=&sub=&spat=&pur=&typ=&spat2=&pub=WWAP&au=&lang2=&mont=0&year=0&lang=english&clave=&bas=&spat3=&inc=10&numpag=0, Accessed: 23/01/2015.
2. Buzalo N., Ermachenko P., Bock T., Bulgakov A., Chistyakov A., Sukhinov A., Zhmenya E., and Zakharchenko N. Mathematical Modeling of Microalgae-mineralization-human Structure within the Environment Regeneration System for the Biosphere Compatible City // Procedia Engineering. - 2014. - Vol. 85. - pp. 84–93. doi: 10.1016/j.proeng.2014.10.532
3. Nelson M., Pechurkin N.S., Allen J.P., Somova L.A., and Gitelson J.I. Bioengineering of Closed Ecological Systems for Ecological Research, Space Life Support and the Science of Biospherics, ENVIRONMENTAL BIOTECHNOLOGY in the Handbook of Environmental Engineering series, Chapter 11 in Volume 10, 2010, The Humana Press, Inc., Totowa, New York, 2010.
4. Consultative Communication on the Sustainable Use of Phosphorus. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, 8.7.2013. - URL: <http://ec.europa.eu/environment/consultations/pdf/phosphorus/EN.pdf>, Accessed: 25/01/2015.
5. Co-financed by the EU Commission within the FP 7 programme, the project “ENERGY.2010.3.4-1: Bio-fuels from algae”. - URL: <http://www.allgas.eu/Pages/AimofProject.aspx>, Accessed: 25/01/2015.
6. The Building Exhibition /Smart Material Houses / BIQ. - URL: <http://www.ibahamburg.de/en/themes-projects/the-buildingexhibition-within-the-building-exhibition/smartmaterial-houses/biq/projekt/biq.html>, Accessed: 25/01/2015.
7. Des capteurs solaires biologiques élaborés au laboratoire GENie des Procédés - Environnement – Agroalimentaire (GEPEA) bientôt sur les façades des bâtiments. - URL: http://www.univ-nantes.fr/1363880042335/0/fiche___actualite/&RH=PRES, Accessed: 25/01/2015.
8. Offshore Membrane Enclosures for Growing Algae (OMEGA). URL: <http://www.nasa.gov/centers/ames/research/OMEGA/index.html#.VN7C4ksoKes>, Accessed: 25/01/2015.
9. EcoLogicStudio Urban Algae Canopy Module ecoLogicStudio + Carlo Ratti. - URL: <http://www.ecologicstudio.com/v2/project.php?idc at=3&idsubcat=59&idproj=129>, Accessed: 25/01/2015.
10. Ermachenko P., Bloshinskaya A., Hasyanova E., Timashev R., Gibilov A. Reflexive networks. Workshop Branchpoints. Open / Closed Sites 2013. Strelka Institute for Media, Architecture and Design. August 2 – 10 2013, Moscow, p. 7-8. – URL: http://issuu.com/katylarina_ulab_spb/docs/open_closed_city_workshp_strelka_20

Булгаков А. Г.

Юго-Западный государственный университет, Курск
советник РААСН, д-р техн. наук, профессор,
E-mail: a.bulgakov@gmx.de

Бузало Н.С.

Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, Новочеркасск
канд. техн. наук, доцент,
E-mail: buzalo.n.s@mail.ru

Ермаченко П.А.

Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, Новочеркасск
инженер,
E-mail: neo-ecology@mail.ru

A.G. BULGAKOV, N.S. BUZALO, P.A. ERMACHENKO

PHOTOBIOLOGICAL ARCHITECTURAL SHELLS OF BUILDINGS OF THE BIOSPHERE-COMPATIBLE CITIES AND SETTLEMENTS

The article deals with issues of the use of photoreactors with growing algae as an element of urban construction. Using microalgae photobioreactors can solve multiple tasks: getting a third-generation biofuels, carbon dioxide recycling, wastewater disinfection, oxygen regeneration, and water purification from nutrients. Multi agent system has been used to discover the most efficient urban strategy for local photobiological treatment plants. Project addresses the multi-dimensional optimization problem by describing the mechanism of clustering in urban areas of movable cellular automata, in accordance with

laws of the formation of ecological niches in nature. Structurally, we propose to make the main technological nodes from the translucent membrane. Photoreactors with algae are placed on the building's architectural shell. The construction form is optimized with using a genetic algorithm.

Keywords: microalgae photoreactor, wastewater disinfection, parametric optimization, genetic algorithm, multi agent system

REFERENCES

1. United Nations World Water Assessment Programme (WWAP) Reports. UN-Documentation Centre on Water and Sanitation. - URL: http://www.zaragoza.es/ciudad/medioambiente/onu/en/listadoPer_Onu?&titulo=&sub=&spat=&pur=&typ=&spat2=&pub=WWAP&au=&lang2=&mont=0&year=0&lang=english&clave=&bas=&spat3=&inc=10&numpag=0, Accessed: 23/01/2015.
2. Buzalo N., Ermachenko P., Bock T., Bulgakov A., Chistyakov A., Sukhinov A., Zhmenya E., and Zakharchenko N. Mathematical Modeling of Microalgae-mineralization-human Structure within the Environment Regeneration System for the Biosphere Compatible City // Procedia Engineering. - 2014. - Vol. 85. - pp. 84–93. doi: 10.1016/j.proeng.2014.10.532
3. Nelson M., Pechurkin N.S., Allen J.P., Somova L.A., and Gitelson J.I. Bioengineering of Closed Ecological Systems for Ecological Research, Space Life Support and the Science of Biospherics, ENVIRONMENTAL BIOTECHNOLOGY in the Handbook of Environmental Engineering series, Chapter 11 in Volume 10, 2010, The Humana Press, Inc., Totowa, New York, 2010.
4. Consultative Communication on the Sustainable Use of Phosphorus. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, 8.7.2013. - URL: <http://ec.europa.eu/environment/consultations/pdf/phosphorus/EN.pdf>, Accessed: 25/01/2015.
5. Co-financed by the EU Commission within the FP 7 programme, the project “ENERGY.2010.3.4-1: Bio-fuels from algae”. - URL: <http://www.allgas.eu/Pages/AimofProject.aspx>, Accessed: 25/01/2015.
6. The Building Exhibition /Smart Material Houses / BIQ. - URL: <http://www.ibahamburg.de/en/themes-projects/the-buildingexhibition-within-the-building-exhibition/smartmaterial-houses/biq/projekt/biq.html>, Accessed: 25/01/2015.
7. Des capteurs solaires biologiques élaborés au laboratoire GENie des Procédés - Environnement – Agroalimentaire (GEPEA) bientôt sur les façades des bâtiments. - URL: http://www.univ-nantes.fr/1363880042335/0/fiche___actualite/&RH=PRES, Accessed: 25/01/2015.
8. Offshore Membrane Enclosures for Growing Algae (OMEGA). URL: <http://www.nasa.gov/centers/ames/research/OMEGA/index.html#.VN7C4ksoKes>, Accessed: 25/01/2015.
9. EcoLogicStudio Urban Algae Canopy Module ecoLogicStudio + Carlo Ratti. - URL: <http://www.ecologicstudio.com/v2/project.php?idc=at=3&idsubcat=59&idproj=129>, Accessed: 25/01/2015.
10. Ermachenko P., Bloshinskaya A., Hasyanova E., Timashev R., Gibilov A. Reflexive networks. Workshop Branchpoints. Open / Closed Cities 2013. Strelka Institute for Media, Architecture and Design. August 2 – 10 2013, Moscow, p. 7-8. – URL: http://issuu.com/katyalarina_ulab_spb/docs/open_closed_city_workshp_strelka_20

A.G. Bulgakov

Adviser RAASN, Dr. of engineering, Professor, South West State University, Kursk
(e-mail: a.bulgakov@gmx.de)

N.S. Buzalo

Ph.D., Associate Professor, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),
Novocherkassk
(e-mail: buzalo.n.s@mail.ru)

P.A. Ermachenko

Engineer, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),
Novocherkassk
(e-mail: neo-ecology@mail.ru)

ДВОРЕЦКИЙ А.Т., КЛЕВЕЦ К.Н., МОРГУНОВА М.А.,
ДЕНИСОВА Т.В., АЛЕКСАШИНА В.В.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПАССИВНОЙ СОЛНЕЧНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ЮГА РОССИИ

Для районов с большим количеством солнечных дней в году (южные районы Российской Федерации имеют от 2000 солнечных дней в году) энергетическая эффективность зданий может быть существенно улучшена за счёт применения стратегии пассивного солнечного нагрева. Эта стратегия универсально применима для малоэтажных и частично для многоэтажных новых и реконструируемых зданий и может быть реализована проектировщиками с целью сокращения потребления невозобновляемых источников энергии на отопление и охлаждение здания. Для удобства в проектировании зданий и сооружений и, в частности, расчёта теплопотерь и класса энергоэффективности, разработаны карты изолиний градусосуток отопительного периода (ГСОП) Южного федерального округа. В настоящее время актуальны вопросы повышения экологической безопасности и снижения техногенного воздействия деятельности человека в строительном комплексе, экономии невозобновляемых ресурсов, освоения источников возобновляемой энергии. Суть «зелёной архитектуры» заключается в использовании натуральных и местных строительных материалов, с учётом исторических корней и, по возможности, проектировании зданий с большой долей пассивной солнечной энергией в энергетическом балансе здания.

В архитектуре пассивного низкоэнергетического дома могут присутствовать три системы пассивного солнечного нагрева здания – прямой солнечный нагрев (через окна), солнечное пространство (теплица, оранжерея, зимний сад, атриум) и воздушный коллектор. В статье применена оценка преимуществ пассивной солнечной системы по величине избыточной удельной тепловой энергии за счёт солнечного нагрева в течение отопительного периода в климатических условиях Крыма. Для удобства в проектировании зданий и сооружений и, в частности, расчёта теплопотерь и класса энергоэффективности, разработаны карты изолиний градусосуток отопительного периода (ГСОП) и карты изолиний солнечной радиации Южного федерального округа. Предложен алгоритм формирования солнцезащитных устройств с использованием модели суточного конуса солнечных лучей (СКСЛ).

Использование пассивных солнечных технологий - это простой и не требующий больших затрат путь по сохранению природы и получению энергии. Стратегия пассивного солнечного нагрева диктует особые подходы в архитектурном проектировании зданий («зелёная» архитектура) с целью их охлаждения и отопления. Задача по охлаждению здания есть, прежде всего, задача архитектуры, что значительно снижает затраты электроэнергии на кондиционирование. Только комплексный подход в проектировании и расчёте зданий может дать результат, соответствующий реальному классу энергоэффективности.

Ключевые слова: Энергетическая эффективность зданий, пассивный солнечный нагрев и охлаждение, экологическая безопасность, снижение потребления органического топлива, карты градусосуток отопительного периода, карты солнечной радиации.

Введение

Правительством Российской Федерации было принято постановление от 15 апреля 2014 г. N 321 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Энергоэффективность и развитие энергетики"», одной из задач которого является развитие энергосбережения и повышение энергоэффективности в строительной отрасли.

Целью государственной программы «Энергоэффективность и развитие энергетики» является надежное обеспечение страны топливно-энергетическими ресурсами, повышение эффективности их использования и снижение антропогенного воздействия топливно-энергетического комплекса на окружающую среду, что соответствует цели Энергетической стратегии России на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. N 1715-р, касающейся создания инновационного и эффективного энергетического сектора страны, адекватного как потребностям в энергоресурсах растущей экономики, так и внешнеэкономическим интересам России.

В настоящее время актуальны вопросы повышения экологической безопасности и снижения техногенного воздействия деятельности человека в строительном комплексе, экономии невозобновляемых ресурсов, освоения источников возобновляемой энергии [1].

Анализ публикаций

В доктрине градостроительства и расселения (стратегического планирования городов) в разделе «Градостроительство на основе концепции биосферной совместимости, развивающей человека» говорится, что «Причиной напряженной экологической ситуации является несбалансированная с Природой деятельность городов. Вследствие этого деградация Биосферы является первоначальным источником всех последующих негативных явлений, ведущих к регрессу человека, к росту патологии сознания, возникновению социальных конфликтов, техногенных катастроф, войн и т.п. Поэтому ключевым вопросом является достижение состояния биосферосовместимости современных российских городов, и принцип биосферной совместимости должен быть основополагающим в их градостроительстве, стратегическом планировании и методологии расселения» [2].

Успешное проектирование более комфортабельных, здоровых и безопасных мест, в которых люди живут, может осуществляться по принципам *пассивной низкоэнергетической архитектуры*. Эти принципы помогают пользователям понять суть «зелёной архитектуры» с натуральными и местными строительными материалами, с учётом исторических корней и, по возможности, проектирования зданий с большой долей пассивной солнечной энергией в энергетическом балансе здания [3].

Во многих странах разработаны системы сертификации «зелёных» зданий, что способствует реализации проектов устойчивой архитектуры. Во всех системах большое количество баллов отводится на показатели энергоэффективности зданий.

Директива Европейского Союза 2002/91/ЕС по энергоэффективности зданий требует, чтобы все здания имели маркировку по потреблению энергии, которая будет информировать потребителей и влиять на дальнейшее развитие отрасли.

Система оценок в израильском стандарте «Зелёное строительство» [4] для строительства жилья включает следующие разделы: энергия (37%), земля (17%), вода (17%), материалы (6%), здоровая окружающая среда (10%), отходы и транспорт (10%), инновации и передовой опыт (3%). Всего 100%.

Энергетическая часть израильского стандарта для жилых зданий «Энергия» (37%) делится на два подраздела:

1. Энергетические эксплуатационные качества здания. На пассивную низкоэнергетическую архитектуру приходится 78% раздела «Энергия». Пассивная низкоэнергетическая архитектура включает в себя пассивный солнечный нагрев здания в отопительный период и пассивное охлаждение здания в период перегрева с помощью солнцезащитных устройств.

2. Эксплуатационные качества инженерных систем, включающих системы отопления, вентиляции и кондиционирования и другие инженерные сети, такие как солнечные коллекторы и солнечные панели (22%) раздела «Энергия».

Эти цифры говорят о том, что первичным в повышении энергетической эффективности зданий является архитектура, вторичным – инженерные сети.

Замечательным примером пассивной низкоэнергетической архитектуры является национальный парк в США Mesa Verde. На рисунке 1 представлены руины поселения индейцев анасази, созданных в VI-XIII веках. Поселение закрывается от палящего летнего солнца. Однако, жилища обогреваются низким зимним солнцем.

Существует общее эмпирическое правило, согласно которому грамотно спроектированный пассивный дом в сравнении с традиционным домом той же площади поможет снизить затраты на отопление на 75% при удорожании строительства всего лишь на 5 – 10%. Во многих районах США пассивные солнечные дома не требуют никакой дополнительной энергии на отопление и охлаждение. С учётом текущих и будущих планируемых затрат на отопление до-

полнительная стоимость строительства пассивного солнечного дома возмещается очень быстро. Официальные обзоры указывают на то, что уже в 1984 в США было построено 100000 пассивных солнечных домов, но неофициальные источники говорят об одном миллионе зданий, в которых использованы те или иные принципы пассивного солнечного нагрева (теплицы, оранжереи, лоджии и т.п., пристроены с южной стороны дома) [5].

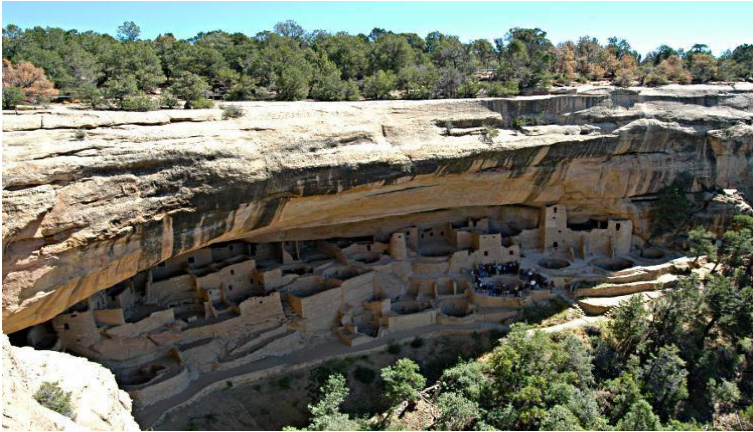


Рисунок 1 - Национальный парк в Соединённых Штатах Mesa Verde

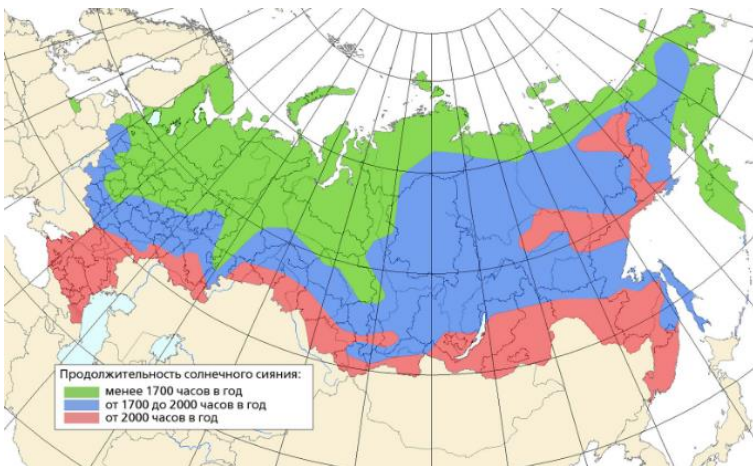


Рисунок 2 - Продолжительность солнечного сияния, часов в год

Существует общее эмпирическое правило, согласно которому грамотно спроектированный пассивный дом в сравнении с традиционным домом той же площади поможет снизить затраты на отопление на 75% при удорожании строительства всего лишь на 5 – 10%. Во многих районах США пассивные солнечные дома не требуют никакой дополнительной энергии на отопление и охлаждение. С учётом текущих и будущих планируемых затрат на отопление дополнительная стоимость строительства пассивного солнечного дома возмещается очень быстро. Официальные обзоры указывают на то, что уже в 1984 в США было построено 100000 пассивных солнечных домов, но неофициальные источники говорят об одном миллионе зданий, в которых использованы те или иные принципы пассивного солнечного нагрева (теплицы, оранжереи, лоджии и т.п., пристроены с южной стороны дома) [5].

Для районов (рис.2) с большим количеством солнечных дней в году (южные районы Российской федерации имеют от 2000 солнечных дней в году) энергетическая эффективность зданий может быть существенно улучшена за счёт при-

менения стратегии пассивного солнечного нагрева. Эта стратегия универсально применима для малоэтажных и частично для многоэтажных новых и реконструируемых зданий и может быть реализована проектировщиками с целью сокращения потребления невозобновляемых источников энергии на отопление и охлаждение здания [6].

Материалы и методы исследований

В архитектуре пассивного низкоэнергетического дома могут присутствовать три системы пассивного солнечного нагрева здания – прямой солнечный нагрев (через окна), солнечное пространство (теплица, оранжерея, зимний сад, атриум) и воздушный коллектор [7].

В статье [8] оценка преимуществ пассивной солнечной системы была сделана по величине избыточной удельной тепловой энергии за счёт солнечного нагрева в течение отопительного периода в климатических условиях Крыма. Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что наиболее энергетически выгодным приемом пассивного солнечного нагре-

ва, направленным на повышение энергоэффективности здания, является воздушный коллектор - стена Тромба (рис.2).

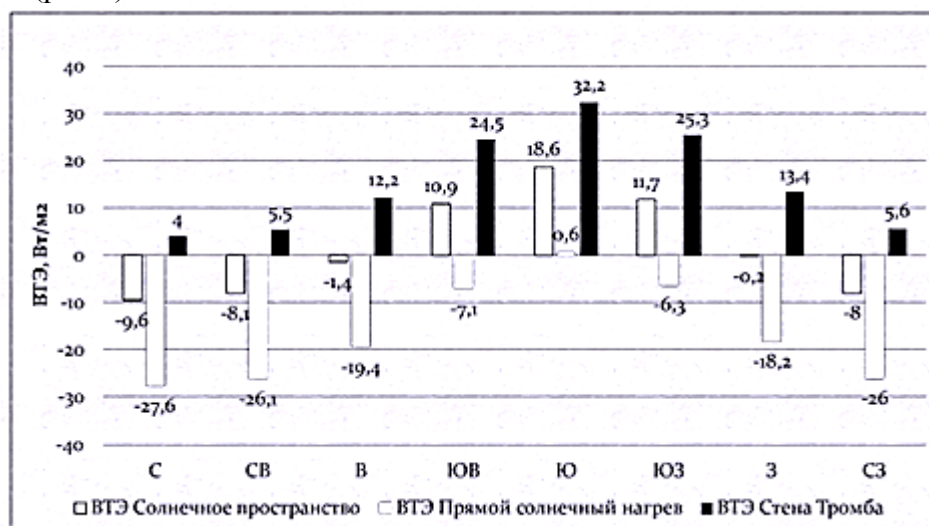


Рисунок 3 - Избыточная тепловая энергия в устройствах пассивного солнечного нагрева в Симферополе



Рисунок 4 - Воздушный коллектор в коттедже под Симферополем

Для удобства в проектировании зданий и сооружений и, в частности, расчёта теплопотерь и класса энергоэффективности, разработаны карты изолиний градусосуток отопительного периода (ГСОП) Южного федерального округа (рис. 2) [9].

Для этого была произведена выборка данных по 47 городам ЮФО и близлежащих стран, которая включает в себя: долготу и широту города, а также значение градусосуток отопительного периода в городе, которое определяется в соответствии со СНиП 23-01-99.

Энергоэффективные солнечные дома создаются в результате комплексного проектирования, которое использует местные источники энергии и материалы, и климатизацию внутреннего пространства в большей мере архитектурными средствами, чем инженерными средствами.

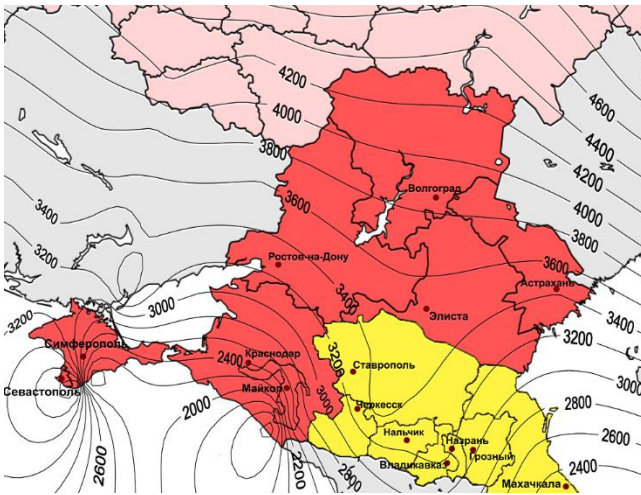


Рисунок 5 - Карта изолиний градусосумм отопительного периода Южного федерального округа (ГСОП), °C·сут

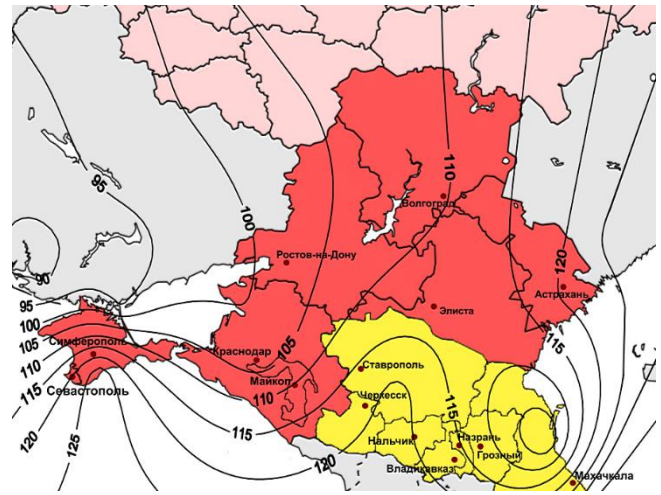


Рисунок 6 - Карта изолиний суммарной солнечной радиации, попадающей на вертикальную поверхность южной ориентации за отопительный период, Вт·ч/м²

Основным параметром климата, определяющим солнечную архитектуру, является суммарная солнечная радиация на вертикальную поверхности при действительной облачности.

Для составления карты изолиний (рис.6) солнечной радиации необходимо было собрать данные о суммарной солнечной радиации при действительных условиях облачности, которая попадает на вертикальную поверхность южной ориентации в отопительный период в городах Южного федерального округа, а также городов близлежащих стран – для более точного построения изолиний.

Одним из основных факторов формирования микроклимата помещений, является инсоляция, контроль за которой можно осуществлять с помощью солнцезащитных устройств (СЗУ). Задачей повышения энергоэффективности здания при проектировании СЗУ является определение формы устройства, при которой в период охлаждения здания солнечная радиация не проходит в помещение, а в отопительный период помещение максимально инсолируется [10].

В основе всех способов формообразования солнцезащитных устройств лежит геометрия видимого движения Солнца по небосводу, а именно – геометрическая модель процесса инсоляции точки на поверхности земли в течение суток. Эта модель представляет собой однопараметрическое множество солнечных лучей, приходящих в одну точку на земной поверхности в течение суток и является суточным конусом солнечных лучей [11]. Модель суточного конуса солнечных лучей (СКСЛ) является основой всех способов формообразования солнцезащитных устройств, а также большинства способов определения продолжительности инсоляции [12].

Спроектировать СЗУ на южном фасаде в виде цилиндра с горизонтальной осью, перпендикулярной фасаду здания можно следующим образом.

- Вычерчивается светопроём на фасаде соответствующей ориентации. В данном примере фасад южный.
- В качестве поверхности СЗУ выбран цилиндр, ось i которого горизонтальна и перпендикулярна плоскости фасада и который легко может быть реализован в виде маркизы (рис.7).
- Рассчитывается половина угла при вершине конуса. Косинус половины угла при вершине суточного конуса солнечных α лучей равен:

$$\cos \alpha = 0,3979 \cdot \cos \gamma \quad (1)$$

Определяется угол поворота Земли вокруг Солнца

Переменный угол γ , который равен углу поворота Земли вокруг Солнца, отсчитываемый от точки летнего противостояния.

$$\gamma = \frac{360^\circ \cdot N}{365} = 0,9863^\circ \cdot N, \quad (2)$$

где N – число суток, которые отсчитываются от 22 июня до заданного дня года.

- Ориентируется СКСЛ так, чтобы его вершина совпадала с расчетной точкой Р.Т., а его ось принадлежала вертикальной плоскости, расположенной в направлении север - юг и была наклонена к плоскости горизонта под углом δ ;
- Строится контур СЗУ (рис.7) как линия пересечения поверхности цилиндра и суточного конуса солнечных лучей.

Результаты и их анализ

Совместно с Ассоциацией экспертов по экотехнологиям, альтернативной энергетике и экологическому домостроению Института теплофизики СО РАН, г. Новосибирск [13] были подготовлены Концепция и Рамочное техническое задание на разработку комплексного проекта экоусадьбы с энергоэффективным коттеджем Академии строительства и архитектуры ФГАОУ «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского». Объекты центра будут выполнены как действующие учебные лаборатории для подготовки студентов в области инновационного проектирования, строительства и эксплуатации и проведения научных работ.

В проекте предусматривается три основные функции «экоусадьбы»:

- экоусадьба-лаборатория для кафедр университета для развития инновационных технологий;
- учебная усадьба для подготовки студентов и переподготовки специалистов;
- демонстрационная усадьба для специалистов и населения.

Состав экоусадьбы:

- экодом-лаборатория
- мастерская
- биовегетарий
- биоботаническая площадка – пермакультурный парк.

Разработка ориентирована на создание демонстрационного базового проекта, оборудованного для подготовки специалистов по инновационному строительству в области автономного индивидуального и малоэтажного строительства. Один из вариантов эскизного проекта энергоэффективного здания для Экоусадьбы представлен на рисунке 8 и тепловой баланс за отопительный период на рисунке 9.

Основные характеристики здания:

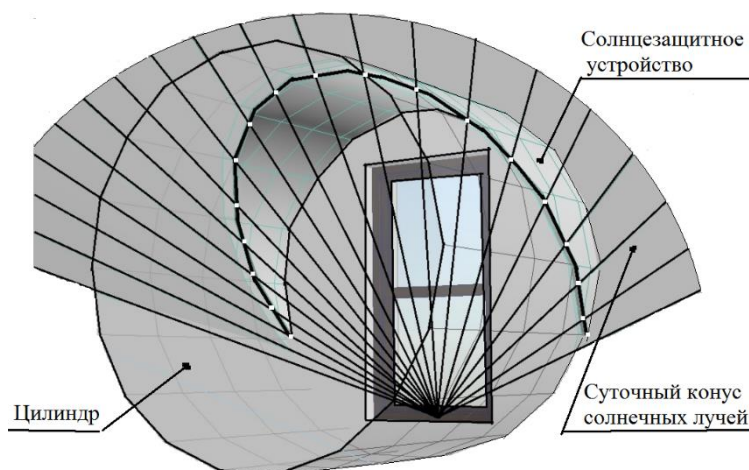


Рисунок 7 - Солнцезащитное устройство в виде цилиндра



Рисунок 8 - Проект энергоэффективного коттеджа экоусадьбы.

Авторы: Дворецкий А.Т., Клевец К.Н., Моргунова М.А., Шаров Н.В.

1. Здание на одну семью общей площадью 200 м².
2. Класс энергоэффективности А.
3. Экономия энергозатрат за счёт пассивного солнечного нагрева в отопительный период 53%.
4. Экономия энергозатрат за счёт эффективной солнцезащиты 35% в период охлаждения здания.
5. Полный сбор дождевой воды и переработка органических отходов.

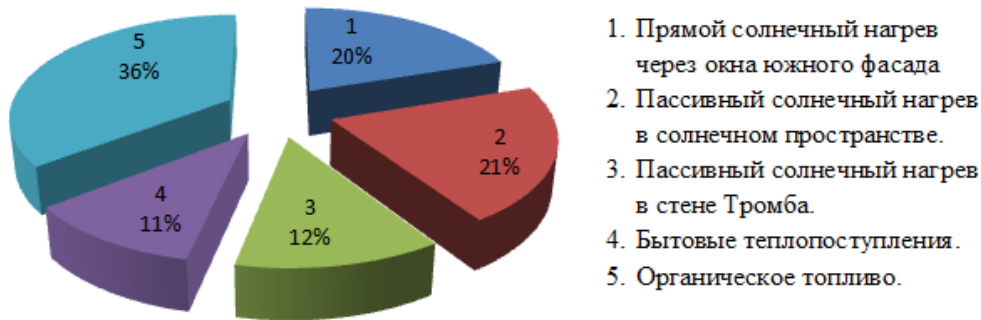


Рисунок 9 - Тепловой баланс энергоэффективного коттеджа за отопительный период

Выводы

- Использование пассивных солнечных технологий это простой и не требующий больших затрат путь по сохранению природы и получению энергии.
- Стратегия пассивного солнечного нагрева диктует особые подходы в архитектурном проектировании зданий («зелёная» архитектура) с целью их охлаждения и отопления.
- Основная доля по охлаждению здания должна быть отнесена к его архитектуре, что значительно снижает затраты электроэнергии на кондиционирование.
- Только комплексный подход в проектировании и расчёте зданий может дать результат, соответствующий реальному классу энергоэффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шубин И. Л., Спиридонов А. В. Проблемы энергосбережения в российской строительной отрасли/ *Энергосбережение*, №1 – 2013. С. 15-21.
2. Ильичёв, В.А. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека [Текст] / В.А. Ильичёв, С.Г. Емельянов, В.И. Колчунов, В.А. Гордон, Н.В. Бакаева. – М.: Издательство АСВ, 2015. – 184 с.
3. David A. Bainbridge. Passive Solar Architecture. Heating, Cooling, Ventilation and Daylighting Using Natural Flows/ David A. Bainbridge and Ken Haggard// Chelsea Green Publishing. Vermont, 2011, 300 p.
4. Edna Shaviv. Passive and Low Architecture – the Israeli Approach Within the Sustainable Building Standard/ Solar 2012 Conference. Swinburne University of Technology, Melbourne December 6, 2012.
5. Dennis Holloway. Пассивный солнечный дом/ 2006 Автор перевода О. Меньшенин. mensh.ru : Построй Свой Дом [http://www.mensh.ru/].
6. Дворецкий А.Т., Клевец К.Н., Дворецкий Д.А. Энергоэффективная архитектура зданий в смешанном климате/ *«Жилищное строительство»*. №3, Москва, 2015. С. 14-18.
7. Дворецкий А.Т. Влияние солнечной радиации на продолжительность отопительного периода и периода охлаждения зданий в Крыму/ *«Биосферная совместимость: человек, регион, технологии»*. №3(7), Курск, 2014. С. 74-81.
8. Дворецкий А.Т., Клевец К.Н. Избыток тепловой энергии в системах пассивного солнечного нагрева зданий// *Строительство и реконструкция* - Орёл. №5 (67), 2016. С. 79-86.
9. Дворецкий А.Т., Денисова Т.В., Клевец К.Н. Карта изолиний градусо-суток отопительного периода для территории Российской Федерации/ *«Строительство и техногенная безопасность»* №4(56), Симферополь, 2016. С. 14-18.
10. Подгорный А.Л., Щепетова І.М., О.В. Сергейчук, О.М. Зайцев, В.П. Процюк. Світопрозорі огороження будинків. – Київ.: Витрина, 2005 р.- 281 с.
11. Дворецкий А.Т., Моргунова М.А., Сергейчук О. В., Спиридонов А.В. Методы проектирования стационарных солнцезащитных устройств/ *Светотехника*. Москва. № 6, 2016. С. 43-48.

12. Римшин В.И., Сёмин С.А., Спиридонов А.В., Шубин И.Л. Практика нормирования солнцезащитных устройств// *Светотехника*. Москва. №6, 2014. С. 27 – 31.
13. Дворецкий А.Т., Спиридонов А.В., Моргунова М.А. Влияние особенностей климата Российской Федерации и ориентации здания на выбор типа стационарного солнцезащитного устройства// *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. Курск, ЮЗГУ. ", 2016. – Вып. 4 (16) – С. 50-57.
14. Огородников И.А. Дом 21 века/ *Строительство и техногенная безопасность*. Симферополь. №4 (56) 2016. С. 33-38.

Дворецкий Александр Тимофеевич

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геометрического и компьютерного моделирования энергоэффективных зданий
E-mail: dvoretskyat@ukr.net

Клевец Ксения Николаевна

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Аспирант кафедры геометрического и компьютерного моделирования энергоэффективных зданий

Моргунова Мария Александровна

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Аспирант кафедры геометрического и компьютерного моделирования энергоэффективных зданий

Денисова Татьяна Владимировна

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Аспирант кафедры геометрического и компьютерного моделирования энергоэффективных зданий

Алексашина Виктория Васильевна

Доктор архитектуры, профессор

A.T. DVORETSKY, K.N. KLEVETS, M.A. MORGUNOVA,
T.V. DENISOVA, V.V. ALEXASHINA

PERSPECTIVES OF THE PASSIVE SOLAR ARCHITECTURE OF THE SOUTH RUSSIA

For areas with a large number of sunny days per year (the southern regions of the Russian Federation have 2000 sunny days per year), the energy efficiency of buildings can be significantly improved through the use of the strategy of passive solar heating. This strategy is universally applicable for low-rise and partly for multi-storey new and reconstructed buildings and can be implemented by designers in order to reduce the consumption of non-renewable energy sources for heating and cooling of the building. For convenience in the design of buildings and structures and, in particular, the calculation of heat loss and energy efficiency class, maps of the isolines of the heating degree days and solar radiation of the Southern Federal District have been developed.

At present, the issues of improving environmental safety and reducing the technogenic impact of human activities in the construction sector, saving non-renewable resources, developing renewable energy sources are urgent. The essence of "green architecture" is the use of natural and local building materials, taking into account the historical roots and, if possible, the design of buildings with a large proportion of passive solar energy in the energy balance of the building.

In the architecture of a passive low-energy house, three systems of passive solar heating of a building can be present: direct solar heating (through windows), solar space (a greenhouse, a conservatory, a winter garden, an atrium) and an air collector. The assessment of the advantages of a passive solar system in terms of excess specific heat energy due to solar heating during the heating season in the climatic conditions of the Crimea proposed in the article.

For convenience in the design of buildings and structures and, in particular, the calculation of heat loss and energy efficiency class, maps of the isolines of the heating period and the maps of the isolines of solar radiation in the Southern Federal District have been developed. An algorithm for the formation of solar shading devices using the model of the daily solar cone is proposed.

The use of passive solar technology is a simple and low-cost way to conserve nature, and to generate energy. The strategy of passive solar heating dictates special approaches in architectural design of buildings ("green" architecture) for the purpose of their cooling and heating. The task of cooling the

building is, first of all, the task of architecture, which significantly reduces the cost of electricity for air conditioning. Only an integrated approach to the design and calculation of buildings can give a result corresponding to the real class of the energy efficiency.

Key words: *Energy efficiency of buildings, passive solar heating and cooling, environmental safety, reduced consumption of fossil fuels, maps of the heating degree days, maps of solar radiation.*

REFERENCES

1. Shubin I.L., Spiridonov A.V. Energy saving problems in the Russian construction industry / Energy saving, №1 – 2013. P. 15-21.
2. Ilyichev, V.A. Principles of the transformation of the city into a biosphere-compatible and developing human being [Text] / V.A. Illichov, S.G. Emelyanov, V.I. Kolchunov, V.A. Gordon, N.V. Bakaeva. - Moscow: Publisher ABU, 2015. - 184 p.
3. David A. Bainbridge. Passive Solar Architecture. Heating, Cooling, Ventilation and Daylighting Using Natural Flows/ David A. Bainbridge and Ken Haggard// Chelsea Green Publishing. Vermont, 2011, 300 p.
4. Edna Shaviv. Passive and Low Architecture – the Israeli Approach Within the Sustainable Building Standard/ Solar 2012 Conference. Swinburne University of Technology, Melbourne December 6, 2012.
5. Dennis Holloway. The passive solar house / 2006 The author of translation O. Menshenin. mensh.ru: Build Your House [http://www.mensh.ru/].
6. Dvoretzky AT, Klevets KN, Dvoretzky DA Energy-efficient architecture of buildings in mixed climate / "Housing construction". № 3, Moscow, 2015. P. 14-18.
7. Dvoretzky A.T. Influence of solar radiation on the duration of the heating period and cooling period of buildings in the Crimea / "Biosphere compatibility: people, region, technology." №3 (7), Kursk, 2014. P. 74-81.
8. Dvoretzky A.T, Klevets K.N. Excess heat energy in systems of passive solar heating of buildings // Construction and reconstruction - Orel. No. 5 (67), 2016. pp. 79-86.
9. Dvoretzky A.T, Denisova TV, Klevets K.N. Map of degree-days isolines of the heating period for the territory of the Russian Federation / "Construction and technogenic security" № 4 (56), Simferopol, 2016. pp. 14-18.
10. Podgorny AL, Schepetova IM, O.V. Sergeychuk, O.M. Zaitsev, V.P. Protsyuk. Translucent structures of buildings- Київ: Vitrina, 2005 p.- 281 c.
11. Dvoretzky AT, Morgunova MA, Sergeichuk OV, Spiridonov AV Methods of designing stationary solar shading devices / Lighting engineering. Moscow. No. 6, 2016. pp. 43-48.
12. Rimshin VI, Semin SA, Spiridonov AV, Shubin I.L. The practice of rationing solar shading devices/ Lighting. Moscow. No. 6, 2014. pp. 27 - 31.
13. Dvoretzky AT, Spiridonov AV, Morgunova MA Influence of the climate features of the Russian Federation and the orientation of the building on the choice of the type of stationary solar shading devices // Biosphere compatibility: people, region, technology. Kursk, SWSU. ", 2016. - Issue 4 (16) - pp. 50 57.
14. Ogorodnikov I.A. 21st Century Home/ Construction and Industrial Safety №4 (56) 2016. P. 33-38

A.T. Dvoretzky

Crimean Federal University named after Vernadsky, Simferopol

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Geometric and Computer Modeling of Energy-efficient Buildings

E-mail: dvoretzkyat@ukr.net

K.N. Klevets

Crimean Federal University named after Vernadsky, Simferopol

Post-graduate student of the Department of Geometric and Computer Modeling of Energy-Efficient Buildings

M.A. Morgunova

Crimean Federal University named after Vernadsky, Simferopol

Post-graduate student of the Department of Geometric and Computer Modeling of Energy-Efficient Buildings

T.V. Denisova

Crimean Federal University named after Vernadsky, Simferopol

Post-graduate student of the Department of Geometric and Computer Modeling of Energy-Efficient Buildings

V.V. Alexashina

Doctor of Architecture, Professor

ЗВЯГИНЦЕВА А.В., ИВАЩУК О.А., ПИЛИПЕНКО О.В.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДОВ РОССИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ СОБЫТИЙНОЙ ОЦЕНКИ

Изучены показатели экологической безопасности жилищно-коммунального хозяйства 113 городов России. Собранные информация охватывает данные о 12 показателях муниципальных образований за 2006 – 2015 годы, представленные в базе Федеральной службы государственной статистики: число источников теплоснабжения, протяженности тепловых, водопроводных, газовых и канализационных сетей, длины трубопроводов этих сетей, требующих замены, площадь ветхого жилья и т.д. Предложен метод комплексной оценки экологической безопасности городов на основе определения вероятности индикативных событий, отличающийся представлением состояния объектов через совокупность показателей и совместные события их одновременного наблюдения. Выполнено многопараметрическое ранжирование городов России по комплексу отдельных показателей экологической безопасности. На основе предложенных моделей изучены тенденции экологически безопасного развития городов в контексте градостроительства, благоустройства территорий и жилищно-коммунального хозяйства.

Ключевые слова: комплексная оценка, города России, показатели жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), индикативные события, тенденции развития городов.

Введение

Сегодня в России 1117 городов, где проживает 75 % населения страны. Среди данного количества городов имеется 169 городов с населением более 100 тысяч человек и 15 городов с количеством жителей свыше одного миллиона. В мире наблюдается глобальная тенденция, когда благосостояние регионов, уровень их жизни, степень технологического развития и общественная производительность труда тесно связаны с плотностью проживания населения, благоприятными климатическими и выгодными географическими условиями. Поэтому рост городов неизбежен, так же, как и прогрессирующая неравномерность в их развитии. На этом фоне отставание инфраструктуры жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) и систем благоустройства городов будет являться постоянной проблемой экологического характера для многих регионов, как России, так и мира в целом.

Обеспечение экологической безопасности городской среды через улучшение качества жилищного фонда и жилищно-коммунальных услуг, повышение комфорта на всей территории Российской Федерации является одной из приоритетных задач социально-экономической политики государства. В России годовой оборот в сфере жилищно-коммунального хозяйства превышает 4,1 трлн. рублей, что составляет более 5,7 % валового внутреннего продукта (ВВП) страны [1].

Состав и характер проблем жилищно-коммунальной и жилищно-строительной отраслей России связаны с существованием негативных тенденций на фоне кризисных явлений в экономике, с моральным, физическим и экономическим износом жилищного фонда, отставанием коммунальных систем в современном технологическом развитии, значительной неравномерностью в показателях эффективности работы предприятий сферы ЖКХ, а также дотационностью жилищно-коммунальной сферы и проблемами с реформой ЖКХ. Ежегодно из бюджета России в отрасль дотируется около 40 млрд. рублей, так как темпы роста затрат в несколько раз превышают темпы роста производительности труда, что приводит в целом к убыточности ЖКХ. И это происходит на фоне того, что за последние 10 лет стоимость услуг ЖКХ в России росла в среднем на 6,5 – 7% в год. Вышеуказанные проблемы пытались неоднократно решить, подвергая отрасль реформированию, основными целями которого являлись повышение рентабельности отрасли, развитие инфраструктуры и модернизация предприятий коммунального хозяйства, а также возмещение издержек за счет повышения эффективности производства и тарифов на услуги ЖКХ.

По данным Росстата по состоянию на 1 января 2016 года доля жилищного фонда с централизованным холодным водоснабжением составила 81%, централизованным горячим водо-

снабжением – 68%, канализацией – 77%, газом – 67% и централизованным отоплением – 85 %. [2 – 4]. В целом это развитие инфраструктуры на 5 – 10% ниже, чем в странах Европы или США. Несмотря на недостаточно развитую инфраструктуру, острота ситуации в сфере ЖКХ последние годы несколько снижается. Согласно социологических опросов Всероссийского центра изучения общественного мнения (ВЦИОМ) в 2013 году россияне считали состояние ЖКХ основной проблемой страны (58% опрошенных). В период с 2006 по 2014 годы актуальность проблем в сфере ЖКХ для россиян значительно возросла – с 32 до 64%. Среди самых острых проблем в этой области в 2015 году населением названы непрозрачность платежей за жилищно-коммунальные услуги, неэффективное управление многоквартирными домами и низкое качество предоставляемых услуг. По результатам опроса ВЦИОМ в мае 2017 года о существующих проблемах в сфере ЖКХ сообщили лишь 7% опрошенных, на первые места в списке наиболее важных проблем в России граждане поставили низкую зарплату (23% респондентов), состояние экономики (21%) и здравоохранения (20%) и только потом проблемы в сфере ЖКХ. Однако это говорит о том, что данная проблематика не исчезла с повестки дня, а ушла на второй план на фоне более актуальных для населения проблем, связанных с нарастающим экономическим кризисом.

С целью обеспечения экологической безопасности городской среды назрела необходимость регулирования и планирования городского развития и комплексной оценки состояния городов России с учетом современных тенденций в области урбанизации. Бурный рост городов с середины XIX века, стремительные темпы развития транспортной и промышленной инфраструктур, загрязнение городской среды способствовали разработке новых правил застройки и организации жизнедеятельности в городах. Генеральные планы городов, разрабатывавшиеся в СССР, были долгое время важнейшим, если не единственным способом планирования городского развития [5]. Однако в них отсутствовало обоснованное видение масштабов и структуры производства и расселения в среднесрочной перспективе. Также практика показала, что в быстроменяющемся мире генеральные планы развития городов быстро утрачивают свою значимость из-за неудачной увязки градостроительных решений с задачами развития производства и расселения на фоне слабо прогнозируемой экономической ситуации. Сегодня теория градостроительства практически не учитывает новые тенденции в развитии городов.

Одна из существенных тенденций связана с уровнем доходов горожан и формированием городских бюджетов, которые во многом определяют качество жизни в городах. Богатые города больше и охотнее вкладывают средства в развитие инфраструктуры, энергосберегающие технологии, решение социальных и экологических проблем. Успешные города в Европе, как правило, не очень велики, их население не превышает 1 – 3 млн. человек, однако они имеют ВВП от 20 – 25 тыс. долларов на душу населения по паритету покупательной способности (ППС). К примеру, в 2014 году в Европе ВВП на душу населения городских агломераций (по ППС) составил: в Кельне и Дюссельдорфе (Германия) \$41 763, в Париже (Франция) \$57 241, а в таких городах, как: Брюссель (Бельгия), Гамбург (Германия), Вена (Австрия), Стокгольм (Швеция), Прага (Чехия) значение данного показателя составило соответственно \$67 884, \$57 041, \$50 115, \$48 603, \$48 384 [6, 7].

В свою очередь, уровень ВВП на душу населения (по ППС) в 2014 году составлял в Москве \$45 803, а в Санкт-Петербурге – 22 600 \$ США [6]. Известно, что Москва входит в десятку крупнейших городских экономик мира, на ее долю приходится 1,4% совокупного ВВП трехсот крупнейших городских агломераций [6]. Город Москва – это 8 % населения, 20 % валового регионального продукта суммарно всей страны, почти 20 % инвестиций, с Московской областью – почти 20 % ввода жилья, около 20 % объемов торговли в России [8]. Все остальные города России имеют значения удельного ВВП на душу населения (по ППС) от \$2 500 до \$12 000 (за исключением Южно-Сахалинска, Ханты-Мансийска, Сургута, Норильска и Петропавловска-Камчатского). Исходя из этого следует, что только отдельные города России могут достигнуть показателей удельного ВВП на душу населения (по ППС) от \$20 000 до \$25 000 за ближайшие 5 – 10 лет, однако такая цель должна формироваться уже сегодня. С данным показателем тесно связана среднемесячная начисленная заработная плата, которая для городов России в 2015 году составляла от 18900 до 78800 руб. (среднемесячная номинальная начис-

ленная заработная плата работников организаций по Российской Федерации за май 2017 года составила 40229 рублей [9]).

Вторая глобальная тенденция урбанизации – это развитие территориальных городских агломераций вокруг крупных городов с населением прилегающих городов, достигающим более 20 млн. человек. Примеры таких агломераций: Токио-Иокогама, Джакарта, Дели, Шанхай, Пекин, Нью-Йорк, Мехико и т.д. В Российской Федерации в будущем это может быть 2 – 4 крупных города, в первую очередь, Москва и Санкт-Петербург, а также возможно некоторые агломерации на востоке или юге страны. Данная тенденция ведет к расслоению общества как по совокупным доходам, так и по территориям проживания. Крупные агломерации приводят к отставанию развития инфраструктуры, проблемам в экологии, безопасности, миграционной и социальной сфере. На фоне роста агломераций наблюдается тенденция стагнации менее крупных городов стран мира и небольших городов, которые в прошлом веке были центрами индустриального развития регионов.

Изучение тенденций развития городов связано с разработкой среднесрочных и долгосрочных прогнозов и основано на использовании индикативного и сценарного методов, позволяющих по выбранным социально-экономическим показателям спрогнозировать возможные процессы развития объекта прогнозирования. При этом методы комплексной оценки являются важным инструментом стратегического прогнозирования и планирования. Для формирования видения развития городов и оценки тенденций их развития важным является сравнение городов между собой по социально-экономическим индикаторам, а также показателям жилищно-коммунального хозяйства и благоустройства территорий.

Сегодня среднесрочное прогнозирование и комплексная оценка экологической безопасности на уровне субъектов Российской Федерации и муниципалитетов все-таки остается пока достаточно сложной и специфической научной работой и поэтому не имеет широкого практического применения при планировании социально-экономического развития территорий. При этом именно такая практика показывает существенную потребность в методическом и информационно-аналитическом обеспечении экологической безопасности городской среды, особенно на муниципальном уровне. В этом плане теория событийной оценки позволяет предложить практические методы для прогнозирования экологической безопасности городских объектов, исходя из изучения процессов развития в группах однотипных объектов на основе имеющихся статистических данных.

Постановка задачи

Комплексная оценка экологической безопасности и развития городов по совокупности разноплановых показателей может основываться на представлении статистических данных в виде наблюдаемых событий. В этом плане считаем, что информацию о состоянии и развитии объектов могут нести в себе как данные в виде показателей, так и различные факты в виде событий. Сегодня направление исследований, связанное с комплексной оценкой экологической безопасности систем, в своей базовой методологии опирается преимущественно на экспертные методы, которые по своей природе являются субъективными. В статье предлагается комплексную оценку экологической безопасности жилищно-коммунального хозяйства проводить по множеству разноплановых показателей на основе вероятностного анализа событий их одновременного наблюдения. В этом случае системный анализ состояний объектов и их изменений связан с методами событийной оценки и событийного моделирования.

В данном исследовании под событийной оценкой понимается анализ состояния и развития сложных систем на основе наблюдения, регистрации и изучения событий и их вероятностей. Событийная оценка является важной составляющей комплексной оценки, которая направлена на анализ состояния и развития сложных систем по совокупности показателей, характеристик или критериев. Разработка методов событийной оценки требует привлечения аппарата математического моделирования, средств обработки данных и методов изучения разноплановой информации. Данное направление исследований связано с решением ряда актуальных задач:

- выявление, классификация и систематизация важных и индикативных событий, характеризующих состояние и развитие различных классов систем;

- алгоритмическое определение вероятностей наблюдения событий;
- построение функций распределения вероятностей случайных величин;
- обработка статистических данных при представлении фактов наблюдений в виде сложных событий и установление вероятностных связей в массивах данных;
- разработка зависимостей для комплексной оценки объектов по совокупности показателей на основе представления фактов наблюдений в виде совместных событий;
- ранжирование множества объектов одного класса в пространствах их состояний.

Таким образом, целью данной статьи является разработка метода комплексной оценки экологической безопасности и ранжирования городов на основе совокупности показателей состояния городской среды и определения вероятности совместных событий их одновременного наблюдения, а также изучение тенденций развития городов в области градостроительства, благоустройства территорий и жилищно-коммунального хозяйства.

Оценка основывается на использовании структурированных массивов статистических данных для группы однотипных объектов и применении методов интеллектуального анализа данных. Информация о состояниях таких объектов может быть представлена в виде темпоральных массивов данных, характеризующих процессы изменения и развития систем. Такие данные имеют структуру таблиц в виде матриц «объекты – показатели», причем статистические таблицы упорядочены по времени, например, годам. Все данные о состоянии ЖКХ городов, регионов, областей и стран относятся к темпоральным данным.

Связь между вероятностями событий и данными позволяет предложить математические модели состояний городов на основе применения различных комбинаций показателей и построить систему анализа их развития. В случае нахождения таких зависимостей возможно установление тенденций развития городов и ранжирование положения каждого из них в многомерном пространстве показателей по отношению ко всей группе изучаемых объектов.

Данные, гипотезы исследования и методика обработки информации

Анализ информации о состоянии и развитии ЖКХ городов России основывался на данных Федеральной службы государственной статистики [9]. Собранная информация о состоянии ЖКХ содержала данные для 113 городов Российской Федерации. Она охватывала значения показателей ЖКХ за период с 2006 по 2015 годы (всего 12 показателей): число источников теплоснабжения, протяженности тепловых, водопроводных, газовых и канализационных сетей, длины трубопроводов этих сетей, требующих замены, общая площадь жилых помещений и площадь ветхого жилья, площадь городских территорий и т.д. В целом это составляло порядка 14 тысяч статистических наблюдений.

В качестве основных показателей для событийной оценки уровня развития ЖКХ были приняты относительные протяженности тепловых сетей p_1 , водопроводных сетей p_2 и канализационных сетей p_3 . Данные показатели определяли в безразмерном виде путем отношения общей протяженности каждой сети, выраженной в километрах, к величине \sqrt{S} , где S – площадь города, км².

Основные принципы и гипотезы, положенные в основу предложенного метода событийной оценки можно сформулировать следующим образом [10 – 18]:

- существует возможность представления информации темпоральной базы данных в виде ограниченной выборки данных из непрерывной многомерной среды;
- темпоральные данные могут формировать в многомерном пространстве состояний некий «образ», который может быть описан с помощью моделей или алгоритмов;
- феноменологический подход позволяет в многомерном пространстве описать данные с необходимой точностью и представить их в виде вероятностных моделей распределения индикативных событий;
- статистические вероятности для индикативных событий могут быть найдены эмпирически с использованием различных алгоритмов группировки и подсчета частот благоприятных событий в общей выборке всех наблюдений;

- поиск связей и закономерностей в массиве данных осуществляется не между показателями объектов, а между вероятностями событий наблюдения этих величин;
- предполагается, что в пространстве состояний H^n можно сформировать комплексный индекс $T = T(p_1, p_2, \dots, p_n)$, представляющий собой функцию многих переменных, на основе которого будет создаваться модель представления данных;
- для каждой элементарной окрестности пространства состояний системы H^n , которая определена произвольной точкой M , и любого процесса l в окрестности этой точки используется гипотеза о связи статистической вероятности индикативных событий и комплексного индекса вида $dw = c_l \cdot dT$, где феноменологические величины c_l определяются по темпоральным данным. Это позволяет получить достаточно точную модель описания данных в многомерном пространстве H^n ;
- событийная оценка и ранжирование по совокупности показателей для конкретных объектов урбанизированных систем возможны по отношению ко всей группе объектов.

Для проведения комплексной оценки экологической безопасности и построения уравнений состояний объектов в виде вероятностных распределений применена предложенная ранее методика оценки вероятности значимых событий [10 – 12]. Данная методика основана на объективных методах интеллектуального анализа данных, позволяющих построить многомерные вероятностные модели развития систем. В качестве основного индикативного события, характеризующего состояние города в определенном аспекте, принято совместное событие одновременного наблюдения нескольких показателей, которые принимаются в виде переменных состояния. Статистическая вероятность совместных событий определялась на основе опытных данных, имеющихся в базе данных, путем разбиения всего наблюдаемого пространства показателей на прямоугольники (при двух показателях) или параллелепипеда (при трех показателях). Для этого длина всего диапазона наблюдаемых значений переменных от минимального до максимального делилась на одинаковое количество интервалов группирования и, в образованных таким образом геометрических фигурах, подсчитывалось количество находящихся точек. Относительные частоты определялись делением числа этих точек на общее количество всех городов. Такой подход позволяет учитывать вероятностные закономерности распределения индикативных событий, отражающих состояние изучаемых объектов. Алгоритмы сортировки, группировки и непосредственного подсчета частот совместных событий для многомерных случаев, а также скрипты определения их вероятностей, разработанные применительно к использованию в программном продукте Statistica, приведены в более ранних работах [10 – 12]. Статистическая вероятность w подсчитывалась кумулятивно во всей группе объектов (113 городов).

Регрессионные зависимости статистической вероятности совместного события наблюдения трех показателей определялись в виде:

$$w = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\text{Prob}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt; \quad \text{Prob} = c_0 + s; \quad s = c_1 \cdot \ln p_1 + c_2 \cdot \ln p_2 + c_3 \cdot \ln p_3, \quad (1)$$

где w – статистическая вероятность совместного события наблюдения показателей p_1, p_2, p_3 , определенная алгоритмически; Prob – инверсная функция нормального распределения со средним, равным нулю и дисперсией, равной единице; c_0, c_1, c_2, c_3 – эмпирические константы, определяемые регрессионным анализом; s – энтропия состояния объектов.

Согласно результатам работ [10, 11] вероятностные распределения (1), представленные через энтропию s , позволяют преобразовать нелинейное пространство состояний объектов в линейное, где возможно введение понятия потенциала, отличающегося аддитивностью. При этом зависимости для потенциала при выборе индикативных совместных событий наблюдения нескольких показателей представлялись в безразмерном виде:

$$U = \frac{p_1^2 - 1}{c_1} + \frac{p_2^2 - 1}{c_2} + \frac{p_3^2 - 1}{c_3}. \quad (2)$$

Как видно из зависимостей (1) и (2), в пространстве наблюдаемых состояний объектов можно построить криволинейные координаты, которые определяют некоторое поле направлений, отражающее среднестатистические тенденции в развитии всего класса объектов. Зависимости для модельного описания данных основываются на определении функций состояния системы – энтропии s и потенциала U . Энтропия и потенциал выступают в качестве обобщенных критериев для комплексной оценки состояния объектов в многомерном пространстве по выбранным показателям состояния и развития объектов. Энтропия определяет направление процесса развития объекта в поле направлений развития всех объектов в целом, а потенциал – принадлежность состояния объекта поверхности уровня, ортогональной линиям энтропии, и характеризует степень развития исследуемого объекта по совокупности анализируемых показателей. Зависимости (1) и (2) используются в процессе ранжирования объектов в пространстве анализируемых показателей.

При изучении различных аспектов развития объектов с целью эффективности анализа информации обработка данных и поиск закономерностей осуществляются по группам от двух-трех до пяти показателей, т.е. $n \in [2 \div 5]$. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы используемые показатели, которые приняты в виде переменных состояния, отличались информативностью, значимостью и вариабельностью, и в совокупности были достаточны для описания состояния системы в определенном ее аспекте.

Пример событийной оценки состояния жилищно-коммунального хозяйства

На основе переменных p_1, p_2, p_3 , характеризующих уровень развития ЖКХ городов, формировалось трехмерное пространство состояний объектов. С целью проведения комплексной оценки рассматривалось совместное событие наблюдения указанных выше трех показателей, для которого алгоритмически по имеющимся данным определялась статистическая вероятность w . Поиск нелинейных связей между статистической вероятностью состояния w и принятыми показателями ЖКХ городов основывался на нахождении зависимости (1). В результате установления связей вероятности w со значениями переменных p_1, p_2, p_3 получена следующая регрессионная зависимость:

$$\text{Prob}(w) = -4,871 + s; \quad s = 0,638 \cdot \ln p_1 + 0,375 \cdot \ln p_2 + 0,425 \cdot \ln p_3. \quad (3)$$

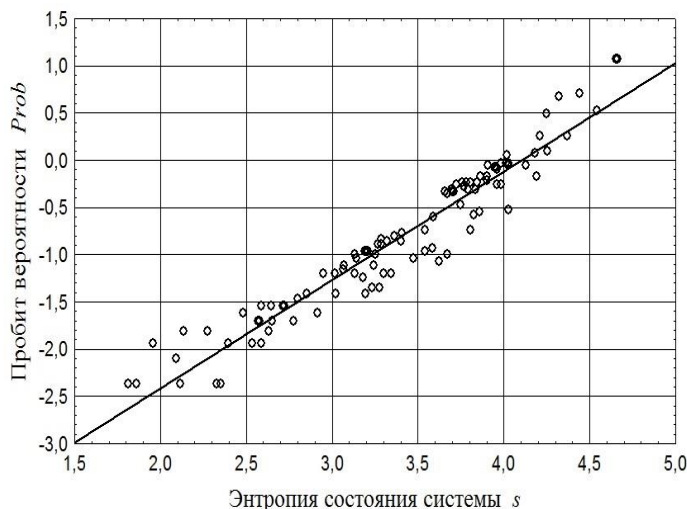


Рисунок 1 – Зависимость вероятности состояния w от энтропии s для совместно наблюдаемых значений показателей жилищно-коммунального хозяйства p_1, p_2, p_3

Коэффициент корреляции зависимости (3) составил 0,93, результаты обработки данных приведены на рисунке 1.

Таким образом, в наблюдаемом пространстве состояний можно построить криволинейные координаты, которые позволяют провести рейтингование городов России по показателям ЖКХ. Ранги городов определены на основе потенциала состояния объектов в пространстве H^n и приведены в таблице 1. Ранги устанавливались по убыванию значения потенциала, рассчитанного согласно зависимости (2). Поэтому, с учетом вероятностной оценки совместных событий, связанных с одновременным наблюдением показателей развития городов, можно проводить их взаимное сравнение.

Аналогичным образом осуществлена оценка состояний городов по показателям благоустройства. Для этого ис-

пользовались следующие показатели: площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на 1 жителя; доля общей площади зеленых насаждений в общей площади городских земель; доля застроенных частей улиц и доля освещенных частей улиц городов в их общей протяженности.

Полученные результаты позволяют провести ранжирование городов по комплексу показателей благоустройства и ЖКХ и сравнить города по уровню развития между собой.

Таблица 1 – Ранги городов России, связанные с уровнем развития ЖКХ

Города	Энтропия	Потенциал	Ранги	Города	Энтропия	Потенциал	Ранги
Архангельск	3,3738	2325,2	70	Нижневартовск	0,8174	30,9	113
Астрахань	4,2051	12886,3	7	Новокузнецк	3,1037	2549,9	66
Белгород	3,9959	11310,7	10	Новороссийск	3,9729	8465,0	16
Благовещенск	2,7301	755,9	102	Новосибирск	4,6677	18000,6	1
Братск	3,1413	1496,9	86	Омск	4,2234	10967,2	12
Брянск	4,0412	7644,9	22	Орел	2,6404	1834,5	80
Владивосток	3,9188	4921,6	38	Оренбург	4,2694	13041,1	6
Владимир	4,0239	6435,5	28	Пенза	3,9131	5741,3	32
Волгоград	3,7949	4253,0	48	Пермь	4,0327	6480,9	27
Воронеж	3,6690	3647,3	54	Петрозаводск	3,3322	1922,9	77
Екатеринбург	4,3854	17844,7	2	Псков	3,8561	4761,2	39
Ижевск	2,8254	6186,9	29	Самара	4,3361	10428,2	13
Иркутск	3,8783	4491,3	45	Саратов	4,0378	7793,4	19
Казань	3,9692	6735,9	25	Северодвинск	2,3370	1168,4	94
Калининград	4,1400	7313,5	23	Сургут	1,8665	1458,5	88
Калуга	3,9950	6597,4	26	Тверь	3,7199	4570,2	43
Кемерово	3,5546	3397,9	58	Тольятти	3,7701	4401,2	46
Кисловодск	3,4831	3249,7	60	Томск	3,8370	5085,2	37
Краснодар	4,4555	12188,3	8	Тюмень	3,2155	2019,2	74
Красноярск	4,2632	8704,8	15	Уфа	3,6844	8084,9	18
Курск	3,4119	3717,2	53	Ухта	3,7071	11072,8	11
Магнитогорск	3,8021	5676,0	35	Хабаровск	3,7075	4369,6	47
Мурманск	3,2046	1733,4	83	Челябинск	4,3807	17321,9	5
Нальчик	3,1523	2225,5	71	Череповец	3,2962	2543,5	67
Находка	2,6518	641,8	105	Чита	2,7244	952,3	97
Нефтекамск	1,8168	1054,4	96	Шахты	3,6363	7755,9	21
Нефтеюганск	1,0257	37,0	112	Якутск	3,3139	8260,4	17
Нижний Новгород	4,6757	17730,9	3	Ростов-на-Дону	4,5576	17529,9	4

Некоторые тенденции развития городов России

Согласно данным Росстата, в среднем в период с 2003 по 2013 годы в городах России промышленное производство выросло в 4,2 раза, объемы работ в строительстве – в 3,9 раза, объемы торговли – в 2,7 раза, а средняя начисленная зарплата изменилась более чем в 5 раз. При этом курс рубля к доллару в этот период изменился всего на 4,6% от 30,6 руб/\$ до 32,0 руб/\$. Все это указывает на наличие особых процессов, протекающих в структуре экономики страны. Возможно скачок курса доллара в 2014 – 2015 годах был предопределен как внешними, так и внутренними факторами. Рост экономических показателей в рублевом эквиваленте в 2,7 – 5 раз на фоне роста ВВП страны по ППС (в долларовом эквиваленте, в ценах 2011 года) в 1,48 раза, указывает на наличие инфляционных процессов, которые происходили при удержании курса доллара. Все это непосредственным образом влияло на темпы развития городов, как в экономическом, так и территориальном аспектах.

За последние 10 лет площадь города Москвы за счет пригородов выросла в 2,37 раза. Высокие темпы роста городских территорий наблюдаются также в Кабардино-Балкарской Республике (2,66 раза), Московской области (1,67 раза), Ульяновской и Пензенской областях (1,46 раза), Хабаровском и Приморском крае (1,4 раза), Республике Марий Эл (1,36 раза).

За это же время население Москвы выросло в 1,18 раза до 12,33 млн. человек. Высокие темпы прироста населения за счет миграции наблюдались в пригородах Москвы – Балашиха (в

2,57 раза), Подольск (1,64 раза), Химки (1,33 раза), Королев (1,28 раза) и др. Также за 10 лет население Ханты-Мансийска выросло в 1,65 раза, Махачкалы и Пятигорска – в 1,53 раза, Сочи – в 1,45 раза, Новороссийска – в 1,41 раза, Краснодара и Тюмени – в 1,33 раза. В остальных городах наблюдались незначительные тенденции роста или снижения количества населения. Например, население Санкт-Петербурга выросло всего на 14%, а Нижнего Новгорода снизилось на 1%. Население городов-миллионеров (кроме Новосибирска, Екатеринбурга и Красноярска, где был рост 12 – 15%) практически не росло.

Как показал анализ, наиболее развитое жилищно-коммунальное хозяйство (с учетом удельных показателей) существует в городах Новосибирск, Екатеринбург, Нижний Новгород, Ростов-на-Дону, Челябинск, Оренбург, Астрахань, Краснодар. В свою очередь, к первым пяти регионам, имевшим в 2015 году самый высокий уровень благоустройства городских территорий, относятся: города Москва и Санкт-Петербург, Белгородская и Нижегородская области, а также Республика Татарстан. К регионам, имевшим в период 2005 – 2015 годов высокие темпы развития ЖКХ и благоустройства городских территорий, относятся: Белгородская и Сахалинская области, город Санкт-Петербург, Республики Карелия и Дагестан.

Высокие темпы ввода жилья за последние 10 лет по сравнению с большинством регионов наблюдались в Московской области (рост площади жилых помещений на одного жителя в 1,5 раза), Республике Дагестан (в 1,39 раза), Калининградской и Орловской областях (в 1,33 раза), Ставропольском, Краснодарском крае и Республике Калмыкия (в 1,3 раза).

Выполненный анализ и динамика процессов урбанизации указывает на то, что в будущем формирование крупных агломераций будет, в первую очередь, привязано к городам Москва и Санкт-Петербург. Возможно формирование агломерации также на юге России, на что указывают процессы миграции населения и жилищного строительства.

Выводы

Предложен метод комплексной оценки состояния городов на основе определения вероятности индикативных событий, отличающийся представлением экологической безопасности объектов через совместные события одновременного наблюдения нескольких значимых показателей, получением регрессионных зависимостей для оценки энтропии и определением потенциала состояния объектов. Это позволило выполнить многопараметрическое ранжирование городов по комплексу жилищно-коммунальных показателей и сравнить города между собой по состоянию инфраструктуры и степени благоустройства.

В процессе анализа данных установлено, что предложенный метод позволяет получать вероятностные распределения совместных событий наблюдения нескольких переменных состояния и устанавливать связь вероятности таких событий с показателями городов.

Результаты работы имеют практическое значение и могут использоваться при выполнении комплексных оценок экологической безопасности городов, формировании целей и разработке мероприятий по обеспечению сбалансированного развития систем коммунальной инфраструктуры с учетом перспективных потребностей, а также при разработке сценариев территориального и инвестиционного планирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия развития жилищно-коммунального хозяйства в Российской Федерации на период до 2020 года. Утв. распоряжением Правительства РФ от 26.01.16, № 80-р.
2. Государственная информационная система жилищно-коммунального хозяйства. – Электр. рес.: офиц. сайт. - URL: www.dom.gosuslugi.ru (04.08.17).
3. Российский статистический ежегодник. Стат. сб. – М.: Росстат, 2016. – 725 с.
4. Жилищное хозяйство в России: Стат. сб. – М.: Росстат, 2016. – 63 с.
5. Белкина Т.Д. Стратегические планы городского развития и инструменты их реализации // Проблемы прогнозирования. - 2010. - № 3. – С. 55 – 72.
6. Инвестиционный портал города Москвы. – Электр. рес.: офиц. сайт. URL: <https://investmoscow.ru/investment/economic-indicators/investment-in-moscow-is-profitable/the-level-and-place-of-economic-development/> (04.08.17).
7. Данные Евростата. Regional GDP in the European Union, 2005. – Электр. рес. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/5115542/1-12022008-AP-EN.PDF> (04.08.17).

8. FAQ: Развитие городов. 5 фактов о формировании агломераций, процессах субурбанизации и проблеме больших городов в России. Принцип децентрализации: <https://postnauka.ru/faq/38237#!> (04.08.17)
9. Федеральная служба государственной статистики. Электр. рес.: офиц. сайт. URL: <http://www.gks.ru/>
10. Звягинцева, А.В. Вероятностные методы комплексной оценки природно-антропогенных систем / Под науч. ред. д.т.н., проф. Г.В. Аверина. - М.: Спектр, 2016. - 257 с.
11. Аверин, Г.В. Системодинамика. - Донецк: Донбасс, 2014. - 405 с.
12. Аверин, Г.В. Стратегическая оценка статуса Украины в современном мире по данным международных организаций. Часть 1: Теория и методика оценки / Г.В. Аверин, А.В. Звягинцева // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. - 2012. - №1(2)–2(4). - С. 75 – 92.
13. Звягинцева, А.В. Событийная оценка состояния городов России по комплексу социально-экономических показателей // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Экономика. Информатика. - 2017. - №9(258), вып. 42. - С. 122 – 132.
14. Звягинцева, А.В. Комплексная оценка природно-антропогенных систем: предложения по развитию методологии // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(4)–2(5), 2013. - С. 62 – 74.
15. Звягинцева, А.В. О вероятностном анализе данных наблюдений о состоянии природно-антропогенных систем в многомерных пространствах // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Экономика. Информатика, №2(223), вып. 37, 2016. - С. 93 – 100.
16. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Konstantinov I.S. and Ivashchuk O.A. 2015. Data Intellectual Analysis Means Use for Condition Indicators Assessment of the Territorial and State Formations. Research Journal of Applied Sciences, 10(8): 411 – 414.
17. Аверин, Г.В. О континуальном подходе к модельному представлению данных [Текст] / Г.В. Аверин, И.С. Константинов, А.В. Звягинцева // Вестник компьютерных и информационных технологий. - 2016. - № 10. - С. 47 – 52.
18. Звягинцева, А.В. Комплексная оценка состояния и развития городов на основе определения вероятностей характерных событий / А.В. Звягинцева, Г.В. Аверин, А.С. Хоруженко // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. - 2016 - №3 (15). - С. 18 – 29.

Звягинцева Анна Викторовна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

Кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории прикладного системного анализа и информационных технологий

E-mail: zviagintseva@bsu.edu.ru, anna_zv@ukr.net

Ивашук Ольга Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Информационные системы»

E-mail: ivaschuk@bsu.edu.ru, olga.ivashuk@mail.ru

Пилипенко Ольга Васильевна

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел

Доктор технических наук, профессор, ректор

E-mail: info@oreluniver.ru

A.V. ZVIAGINTSEVA, O.A. IVASCHUK, O.V. PILIPENKO

SOME DEVELOPMENT TRENDS IN RUSSIAN CITIES STUDYING BASED ON EVALUATION METHODS

The indicators of housing and communal services state and development in 113 Russian cities are studied. The collected information covers data on 12 indicators in Russian municipalities for the period from 2006 to 2015, presented in the Federal State Statistics Service database: the number of sources of heat supply, the length of heat, water, gas and sewerage networks, the total living quarters area and the dilapidated housing area, etc. A method is proposed for a comprehensive assessment of housing and communal services state in cities on the basis of determining the indicative events probability, differing in the representation of the objects state through a combination of indicators and joint events in their simultaneous observation. The Russian cities multiparametric ranking was performed on the separate indicators set. Based on the proposed models, the existing trends in urban development in the urban planning field, housing and communal services and landscaping are studied.

Keywords: integrated assessment, Russian cities, indicators of housing and communal services state, indicative events, urban development trends.

REFERENCES

1. Strategiya razvitiya zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva v Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda. Utv. rasporyazheniyem Pravitel'stva RF ot 26.01.16, № 80.
2. Gosudarstvennaya informatsionnaya sistema zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva. – Elektr. res.: ofits. sayt. URL: www.dom.gosuslugi.ru (04.08.17).
3. Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik. Stat. sb. – M.: Rosstat, 2016. – 725 s.
4. Zhilishchnoye khozyaystvo v Rossii: Stat. sb. – M.: Rosstat, 2016. – 63 s.
5. Belkina T.D. Strategicheskiye plany gorodskogo razvitiya i instrumenty ikh realizatsii // Problemy prognozirovaniya, 2010. № 3. – S. 55 – 72.
6. Investitsionnyy portal goroda Moskvy. – Elektr. res.: ofits. sayt. URL: <https://investmoscow.ru/investment/economic-indicators/investment-in-moscow-is-profitable/the-level-and-place-of-economic-development/> (04.08.17).
7. Dannyye Yevrostat. Regional GDP in the European Union, 2005. – Elektr. res. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/5115542/1-12022008-AP-EN.PDF> (04.08.17).
8. FAQ: Razvitiye gorodov. 5 faktov o formirovani aglomeratsiy, protsessakh suburbanizatsii i probleme bol'shikh gorodov v Rossii. Printsip detsentralizatsii: <https://postnauka.ru/faq/38237#!> (04.08.17)
9. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Elektr. res.: ofits. sayt. URL: <http://www.gks.ru/>
10. Zvyagintseva A.V. Veroyatnostnyye metody kompleksnoy otsenki prirodno-antropogennykh sistem / Pod nauch. red. d.t.n., prof. G.V. Averina. M.: Spektr, 2016. – 257 c.
11. Averin G.V. Sistemodinamika. Donetsk: Donbass, 2014. – 405 s.
12. Averin G.V., Zvyagintseva A.V. Strategicheskaya otsenka statusa Ukrainy v sovremennom mire po dan-nym mezhdunarodnykh organizatsiy. Chast' 1: Teoriya i metodika otsenki // Sistemnyy analiz i informatsionnyye tekhnologii v naukakh o prirode i obshchestve, №1(2)–2(4), 2012. – S. 75 – 92.
13. Zvyagintseva A.V. Sobytiynaya otsenka sostoyaniya gorodov Rossii po kompleksu sotsial'no-ekonomicheskikh pokazateley // Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Ekono-mika. Informatika, №9(258), vyp. 42, 2017. – S. 122 – 132.
14. Zvyagintseva A.V. Kompleksnaya otsenka prirodno-antropogennykh sistem: predlozheniya po razvitiyu metodologii // Sistemnyy analiz i informatsionnyye tekhnologii v naukakh o prirode i obshchestve, №1(4)–2(5), 2013. – S. 62 – 74.
15. Zvyagintseva A.V. O veroyatnostnom analize dannykh nablyudeniya o sostoyanii prirodno-antropogennykh sistem v mnogomernykh prostranstvakh // Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Ekonomika. Informatika, №2(223), vyp. 37, 2016. – C. 93 – 100.
16. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Konstantinov I.S. and Ivashchuk O.A. 2015. Data Intellectual Analysis Means Use for Condition Indicators Assessment of the Territorial and State Formations. Research Journal of Applied Sciences, 10(8): 411 – 414.
17. Averin G.V., Konstantinov I.S., Zvyagintseva A.V. O kontinual'nom podkhode k model'nomu predstavleniyu dannykh // Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy. 2016. № 10. S. 47 – 52.
18. Zvyagintseva A.V., Averin G.V., Khoruzhenko A.S. Kompleksnaya otsenka sostoyaniya i razvitiya gorodov na osnove opredeleniya veroyatnostey kharakternykh sobytii // Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii, №3 (15), 2016. – S. 18 – 29.

A.V. Zviagintseva

Belgorod State National Research University, Belgorod

Candidate of technical science, docent, Senior Researcher, Research Laboratory for Applied Systems Analysis and Information Technology

Email: zviagintseva@bsu.edu.ru, anna_zv@ukr.net

O.A. Ivaschuk

Belgorod State National Research University, Belgorod

Doctor of technical science, docent, professor of Information Systems Department

Email: ivaschuk@bsu.edu.ru

O.V. Pilipenko

Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol

Doctor of technical science, professor, rector

E-mail: info@oreluniver.ru

ХОЛОДОВА Е.В.

ПОЛВЕКА КУРСКИХ УСАДЕБНЫХ МУЗЕЕВ: ПРОЕКТЫ, ПРАКТИКА, ПЕРСПЕКТИВЫ

Впервые представлено краткое исследование истории создания усадебных музеев на территории Курского края (современные Курская и Белгородская области) за полувековой период - второй половины XX века и рубежа XX-XXI веков. Так же рассмотрен опыт прошлого на примере музеефикации усадебного дома (начала XVIII века) в Борисовке Шереметевых. Выявлены проблемы сохранения усадебных коллекций и ценностей Курского края, хранящихся в фондах Курского областного краеведческого музея, Рыльского районного музея и др. Впервые представлены архивные материалы и чертежи не исполненного в реализации рабочего проекта восстановления усадебного комплекса Ивановское гетмана Мазепы. Исследование даёт объединённую информацию о существующих усадебных экспозициях в Марьино, Богословке, Головчино, Винниково, Белом Колодезе для включения её в туристические маршруты на тему «Загородных усадеб Курского края». Представлен материал о недавнем событии в современной курской усадебной истории, которым является возрождение Воробьёвки, с программой воссоздания музея-усадьбы Афанасия Фета.

Ключевые слова: Курский край (губерния), усадебные музеи, реставрация, консервация, проекты, музеи-усадьбы, коллекции, фонды, экспонаты.

Тема дореволюционных музеев в усадьбах бывшей Курской губернии (ныне современные регионы Белгородской и Курской обл., часть Орловской и Сумской обл.) не изучена. Есть лишь краткие сведения о коллекционерах усадебовладельцах, о сохранении и музеефикации старых усадебных зданий (при строительстве новых) и расположения там художественных галерей и портретов предков, создание мемориальных уголков парков. Между тем все домашние усадебные коллекции были представлены к показу не для широкой публики, а преимущественно для гостей усадьбы. Однако из-за недостаточной сохранности материалов, особенно иллюстраций, не представляется возможным полный обзор этой темы.

Но благодаря дореволюционным публикациям и архивным фондам можно представить пример сохранения усадебного мемориального объекта, так называемого «Домика Петра Первого» или «Домика Петра Великого», в Борисовке Шереметевых. И хотя пребывание Петра I в Борисовке вызывает большие сомнения современных исследователей [1], само по себе здание мемориального «домика» можно сказать, стало, пожалуй, одним из первых усадебных музеев в Курской губернии. Созданный, по свидетельству современников, в начале XVIII в. деревянный 2-х этажный терем (рис. 1), в течении более чем двух веков, сохранял первоначальный облик и интерьеры с коллекцией предметов старины и документов рубежа XVII-XVIII вв. [2-4]. Причём, территория, расположенного в усадебном саду терема «отделенная от двора легкой деревянной решеткой», являлась площадкой для экспозиции старинного трофейного оружия [4] (рис. 2).

В течении значительного периода XVIII и первой половины XIX вв. терем использовался для хозяйственных нужд и хранения «разных бумаг»: нижний этаж был кладовой, а в верхнем располагался архив имения [5].

К 1840-м гг. возобновилось внимание к дому, как легендарному памятнику прошлого. Здание неоднократно поновлялось и было сохранено под специально сконструированном над ним шатром (своеобразной консервации объекта).



Рисунок 1 - Борисовка (ныне Белгородская обл.) усадьба и вотчинная контора Шереметевых. «Домик Петра Первого». Гравюра нач. XX в. (?)



Рисунок 2 - Борисовка (ныне Белгородская обл.) усадьба и вотчинная контора Шереметевых. Пушки у «Домика Петра Первого». Фото нач. XX в. (?)

Шереметева пребывал и имел генеральную квартиру Пётр Великий. Эта знаменитая древность приходится время от времени в большую ветхость. Дабы сохранить его для дальнейшего потомства как памятник драгоценный для воспоминаний нужно устроить над ним деревянный шатер в отвращении от дождя и сырости...». Прошение было исполнено. Защитный шатёр из дубового леса из «господской рощи» был изготовлен над «Домиком Петра Первого» в конце 1845 г.. [2].

Современники 1860-х гг. дают следующую характеристику: «[...] «Домиком Петра Великого» называется небольшое деревянное здание на берегу Ворсклы, обращенное фасадом на восток. Оно построено в начале XVIII века из толстого дубового леса высотой в два этажа, на подобие старинного теремка и перед Полтавским походом Петр Великий прожил в нем до шести недель. Каждый этаж состоит из двух небольших комнат, а нижний соединяется с верхним посредством наружной лестницы, откуда наверху с трех сторон идёт небольшая галерейка вокруг стен. Крыша из гонта и выкрашена красною краскою. Мебель в нижнем этаже состоит из одного стола и нескольких скамеек стариной отделки, которые по уверению старожилов современны постройке домика. Над входом прежняя надпись: «Генеральная Квартира», но она уже не раз поновлялась [...]. При домике имеются восемь чугунных орудий разного калибра (7 пушек и 1 единорог), подаренные по преданию императором после Полтавского сражения фельдмаршалу графу Б.П. Шереметву, вероятно из отбитых у шведов, так как они очень повреждены...» [3].

Облик дома, защитный шатёр, старинные интерьеры и пушки перед домом, судя по документу начала 1902 г. бережно сохранялись: «...дом крыт железным навесом на высоких столбах [...] Каждый этаж состоит из двух комнат: главной и боковой. Нижний этаж совершенно пустой без лавок и столов. В верхнем – по стенкам дубовые лавки. В восточном углу к образам массивный деревянный стол с выдвижным ящиком и в углу икона распятия Господня живописной работы. Боковая комната, вероятно, служит опочевальней. Комната эта освещается одним окном, а большая 4 окнами [...]» [4].

Дом сберегался местными жителями, ещё и в первые годы революции, между тем как сама усадьба была уничтожена в революционных пожарах 1905 г. [1].

Речь о полувековой истории курских усадебных музеев всё же относится ко времени второй половины XX в. и рубежа XX-XXI вв.

В послереволюционное лихолетье курским усадьбам не повезло. Не было создано ни одного музея-усадьбы.

Так, в 1840 г. терем был освобождён от вещей и отремонтирован. В своём докладе управляющий именем заключает: «...прошлый год оно исправлено, и от вещей опростано» и потому «...от проезжающих господ не будет нареканий, что строение, где некогда Великий Император жили с фельдмаршалом, находится в небрежном отношении...» [5].

Посетивший Борисовку в апреле 1844 г. ревизор вотчинного управления надворный советник Кушенский сообщал графу Д.Н. Шереметеву следующее: «[...] в слободе Борисовке находится старинный домик, в котором в славные дни фельдмаршала Бориса Петровича



*Рисунок 3 - Курск. Экспозиция «Дворянского зала» Курского областного краеведческого музея.
Фото автора 2016 г.*

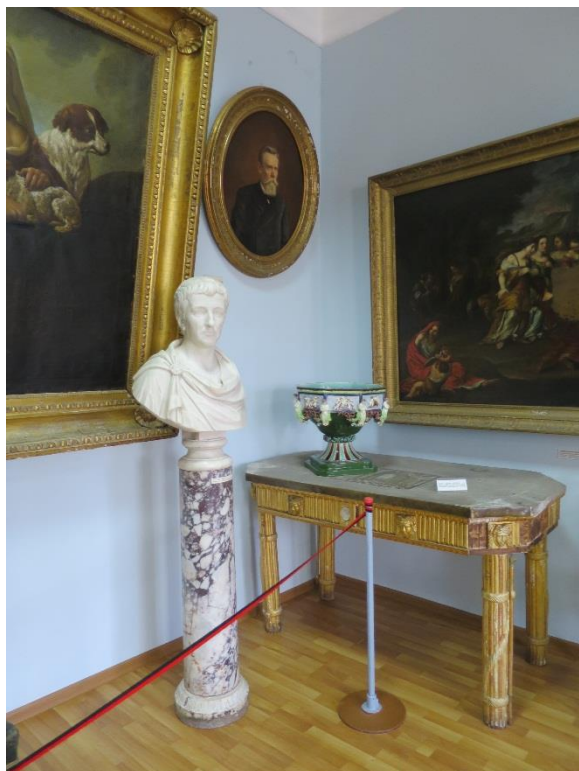
Между тем, Курский областной краеведческий музей, учрежденный в 1903 г. как «Историко-археологический и кустарный музей» и открытый для горожан и приезжих 31 января 1905 г. уже в 1915 г. располагал десяти тысячами экспонатов, а его библиотека состояла из тысячи томов, что было преимущественно дарами курских коллекционеров и дворянства [6]. В первые годы Советской власти музей, а затем и основанная в 1935 г. картинная галерея были укомплектованы экспонатами преимущественно на коллекциях, спасенных из уже разоренных усадебных гнёзд [7]. Курский областной краеведческий музей имеет постоянную экспозицию – «дворянский зал» (рис. 3) и проводит тематически выставки, посвящённые курским загородным усадьбам. Сегодня в фондах Курского областного краеведческого музея хранится свыше 180 тысяч экспонатов, среди которых - уникальные коллекции бисера, фарфора, нумизматики, оружия, живописи, редкой книги, костюма, мебели. А собрание картинной галереи в настоящее время охватывает более восьми тысяч произведений русского и западноевропейского искусства XVI-XX вв., среди которых живопись, скульптура, графика, декоративно-прикладное и народное искусство [8].

Тоже касается первых районных музеев, открытых в 1920-е – 1930-е гг. в городах Курской области - в Белгороде, Рыльске (рис. 4 - 5), Судже, Дмитриеве, Фатеже [9] и др., интерьеры и фонды которых представлены предметным и художественным миром курской усадьбы.

Далее значительный период информация о проектах музеефикации усадеб отсутствует.

Но в большей степени сохранности коллекции [10] и самой усадьбы повезло бывшему курскому имению Бярятинских в с. Ивановском и п. Марьино (рис. 6). Дворцово-парковый комплекс Марьино стал санаторием и им является и сегодня [11]. Однако порядка семидесяти лет санаторий Марьино был закрытым учреждением, не было доступа для его экскурсионного просмотра.

В послевоенное время поднимался вопрос о воссоздании и музеефикации одной из старейших каменных усадеб Ивановское - палаты Мазепы и его служб, её реконструкции и благоустройства. Впервые в 1947-1950-х гг. были представлены архивные чертежи рабочего проекта восстановления усадебного комплекса «для культурно-просветительских целей» [12], который так и не был осуществлён.



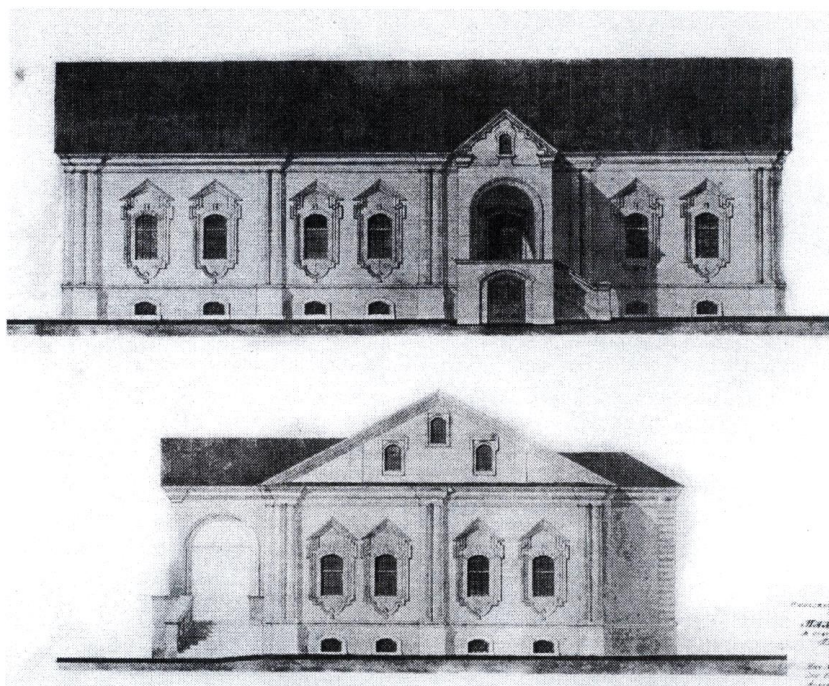
*Рисунок 4 - Рылск Курской обл.
Экспозиция Рылского краеведческого музея.
Фото автора 2014 г.*



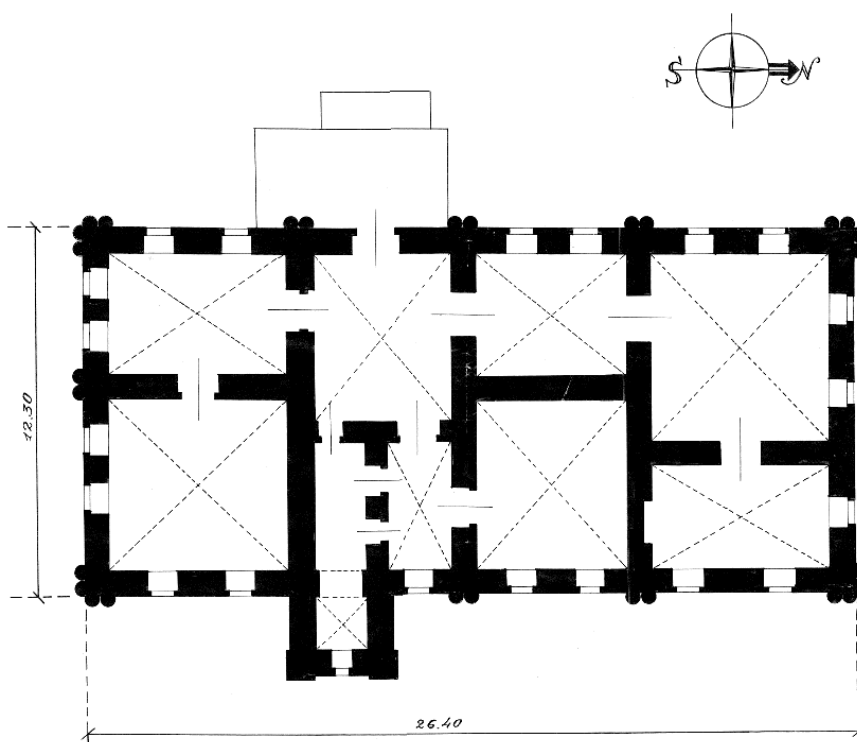
*Рисунок 5 - Рылск Курской обл.
Экспозиция Рылского краеведческого музея.
Фото автора 2014 г.*



*Рисунок 6 - Марьино усадьба Бярятинских (Курская обл.). Дворец.
Южный фасад со стороны паркового партера. Фото 2016 г.*



*Рисунок 7 - Ивановское. Палаты Мазепы (Курская обл.).
Реконструкция К. Лопяло. 1976 г.*



*Рисунок 8 - Ивановское. Палаты Мазепы (Курская обл.). План 1-го этажа.
Обмеры архитектора С.И. Фёдорова. 1958 г.*



Рисунок 9 - Ивановское. Палаты Мазепы (Курская обл.). Современное состояние. Фото 2016 г.

Хотя и в дальнейшем этот же вопрос неоднократно поднимался в проектах и в планах и других предложениях по реконструкции здания. Далее в 1980-х гг. в каменице (флигеле усадьбы) бы создан так называемый народный музей, где была представлена экспозиция и предметный мир из истории комплекса усадеб Ивановское и Марьино (рис. 10). Музей горел в середине 1990-х гг., а палаты Мазепы до сих пор находятся в аварийном и заброшенном состоянии. Хотя со стороны администрации Курской области ежегодно выдвигаются идеи создания в этом доме музея русского костюма.



Рисунок 11 - Ивановское. Палаты Мазепы (Курская обл.). Каменица – службы при палатах Мазепы, в которой в 1980-90-хх гг. размещался «Народный музей». Фото 1947 г.

После пожара в каменице Ивановский народный музей перевели на 3-й этаж дворца-санатория Марьино, который в 1990-е гг. уже был открыт для посещения экскурсий, как и дворец и парк Барятинских. И хотя усадьба не имеет официального статуса «музея-усадьбы», сегодня Марьино санаторий и объект культурного наследия федерального значения, всё же является и музеем в самом широком смысле и действии.



Рисунок 11 - Марьино усадьба Бярятинских (Курская обл.). Члены Общества изучения русской усадьбы на экскурсии во дворце. Фото автора ноябрь 2014 г.



Рисунок 12 - Марьино усадьба Бярятинских (Курская обл.). Вечера Марьинской ассамблеи. Фото 2000-х гг.



Рисунок 13 - Ивановское (Курская обл.). Интерьер склепа и часовни под Покровской церковью, семейного захоронения Бярятинских. Фото нач. XX в. до разрушения.



Рисунок 14 - Ивановское (Курская обл.). Восстановленное в 2006 г. (было разрушено в 1936 г.) помещение склепа семейного захоронения Бярятинских. Фото автора март 2011 г.

Хорошо сохранившаяся парадная часть дворца и парка, а также помещение музейной экспозиции, ежедневно предоставлены для показа экскурсионным группам и сегодня (рис. 11, 12). А в Ивановском восстановлена часовня-усыпальница Бярятинских (рис. 13, 14), в которой размещены надгробия, проводятся богослужения и экскурсии [11].

В Марьино периодически организуют передвижные художественные выставки из фондов Курской областной картинной галереи, ежегодные Марьинские ассамблеи с театрализованными действиями из истории усадьбы и реконструкции репертуара марьинского театра. Марьино Бярятинских самая посещаемая туристами усадьба Курской области (около 3 миллионов человек в год). Сегодня здесь ведутся проектные работы по реставрации дворца, разработан проект охранных зон усадебного комплекса.

На территории бывшей Курской губернии уже в 2000-х гг. были предложения ряда проектов воссоздания усадеб с организацией музеев-усадьб на месте практически уничтоженных комплексов, которые не были осуществлены. В основном это предложения групп общественности, в рамках учебных студенческих дипломных проектов. Например: Новая Таволжанка Боткиных (ныне Белгородская обл.), Нескучное Лансере (ныне Харьковская обл.) и Усть-Крестиче Лансере-Серебряковых (Курская обл.) и др.



*Рисунок 15 - Богословка (ныне Белгородская обл.) усадьба Раевских.
Главный усадебный дом-музей. Фото автора 2001 г.*

Отметим ряд примеров создания экспозиций или музеев в бывших усадебных комплексах в 1990-х и 2000-х гг. Например, в Богословке Раевских (ныне Белгородская обл.) в 1995 г. открыт мемориально-культурный комплекс В.Ф. Раевского, где в главном усадебном доме значительная часть экспозиции посвящена истории рода Раевских и усадьбе, хотя пространство самой усадьбы не сохранилось (рис. 15).



(а)



(б)

*Рисунок 16 - Головчино (ныне Белгородская обл.) усадьба Хорватов. Круглое здание.
Главный фасад (а) и экспозиция в интерьере выставочного зала (б). Фото автора 2016 г.*

В Головчино Хорватов (ныне Белгородская обл.) в 2007 г. в так называемом Круглом здании открыл экспозиционный зал, посвященный истории усадьбы Хорватов [13] (рис. 16). В Винниково (Курская обл.) в 2009 г. вблизи от места усадьбы был создан музей, который посвящен жизни и творчеству певицы Н.В. Плевицкой, где размещена в т.ч. и экспозиция, посвященная её усадьбе. Здесь же проводятся экскурсии и музыкальные фестивали (рис. 17).



(a)



(б)

Рисунок 17 – Винниково (Курская обл.). Музей певицы Н.В. Плевицкой вблизи ее усадьбы. Главный фасад (a) и интерьер музея (б). Фото автора 2011 г.

Сегодня память о курских усадьбах сохраняется в музеях, чаще общественных, созданных в общеобразовательных школах, усадебных постройках по инициативе энтузиастов-любителей. Большинство из них созданы на рубеже XX-XXI вв.: Полянское Анненковых, музей рода Марковых в Озёрках, краеведческий музей Кучерова хутора Арнольди в Курской обл., Белый Колодезь Шварцев в Орловской обл. и др.[14].



(a)



(б)

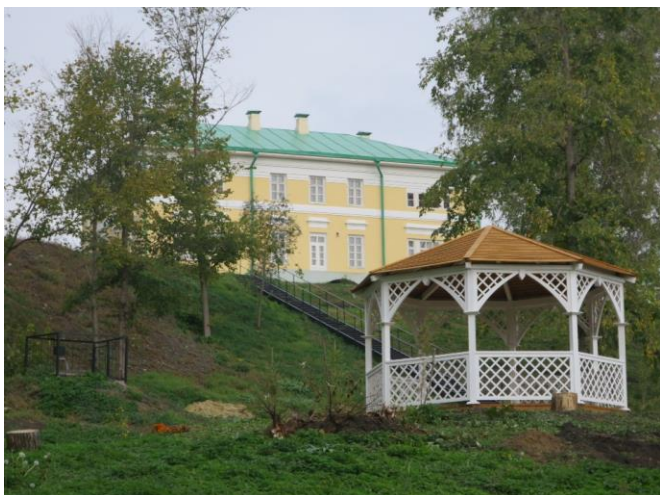
Рисунок 18 - Воробьёвка Усадьба А.А.Фета (Курская обл.). Главный дом в процессе (a) и после реставрации (б). Фото автора 2014, 2016 г г.

Значительным событием в современной курской усадебной истории является возрождение Воробьёвки, с программой воссоздания музея-усадьбы Афанасия Фета. Вопрос музеефикации усадьбы впервые был затронут ещё в 1980-е гг. Первая экспозиция, в дальнейшем ставшая музейной комнатой, была открыта в главном усадебном доме к 160-летию со дня рождения поэта в 1980 г. В 1982 г. предполагались первые реставрационные работы, которые так и не исполнились. В 1987 г. была выполнена предпроектная документация по реставрации усадьбы и парка. В 1990 г. утверждены охранные зоны усадьбы АА Фета. С 1986 г. здесь проводятся ежегодные фетовские чтения. С 2011 по 2016 гг. силами администрации Курской об-

ласти и спонсорской помощи возрождается парк и усадебные строения фетовской Воробьёвки. 5 декабря 2015 г. в главном доме усадьбы открыт музей, а окончательное завершение реставрации и обустройства всех этажей дома завершено в декабре 2016 г. На территории усадьбы благоустраивается парк и проводятся экскурсии [15].



*Рисунок 19 – Воробьёвка. Усадьба А.А.Фета (Курская обл.).
Воссозданный интерьеры главного дома. Фото автора 2016, 2017 гг.*



(а)



(б)

Рисунок 20 - Воробьёвка Усадьба А.А.Фета (Курская обл.). Вид на пруд-сажелку после восстановительных работ (а). Вид на воссозданный колодец на прибрежной террасе у главного дома (б). Фото автора 2016 гг.

Хотелось бы верить, что известные нам и перспективные проекты возрождения усадебных комплексов станут своевременным воплощением и развитием в будущем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Факт истории или вымысел ? (К вопросу о пребывании Петра I в Борисовке) // История Борисовского края. – Белгород: Белгородская областная типография, 2008. – С.44-46.
2. Шереметев, С.Д. Богородицкий Тихвинский монастырь Курской губернии, основанный фельдмаршалом гр. Б.П. Шереметевым 1713-1913 / С.Д. Шереметев. – М.: Самодельная типография, 1914. – С.215-217.
3. Дело о постройке шатра в сл. Борисовке над домиком, в котором граф Б.П. Шереметев принимал Петра I. 1844-1845 гг. - Российский государственный исторический архив. ф.1088, оп.6, д.1255.

4. Домик Петра Великого в слободе Борисовке // Труды Курского губернского статистического комитета. – Курск: Типография Губернского правления, 1863. – С. 579-581.
5. Рапорт Грайворонского уездного исправника в Курский статистический комитет о памятниках старины. 25 января 1902 г. - Госархив Курской области. ф.4, оп.1, д.123.
6. Саницкий А.В., Саницкая Г.А. О некоторых особенностях музеев Курской области // Музеефикация памятников истории и культуры Курского края: прошлое настоящее, будущее [Текст]: Материалы I-х Гордеевских чтений / Отв. Ред. И.М. Плаксин. – Курск: Изд-во Курского обл. краевед. музея, 2013. – С.20-23.
7. Склярчук В.И. Собираем церковный отдел // Музеефикация памятников истории и культуры Курского края: прошлое настоящее, будущее [Текст]: Материалы I-х Гордеевских чтений / Отв. Ред. И.М. Плаксин. – Курск: Изд-во Курского обл. краевед. музея, 2013. – С.42-46.
8. Мануйлова С.В. Земская деятельность по развитию музейного дела в Курской губернии в начале XX века // Музеефикация памятников истории и культуры Курского края: прошлое настоящее, будущее [Текст]: Материалы I-х Гордеевских чтений / Отв. Ред. И.М. Плаксин. – Курск: Изд-во Курского обл. краевед. музея, 2013. – С.75-80.
9. Бирюков А.Ю. История развития музейного дела в г. Фатеже // Музеефикация памятников истории и культуры Курского края: прошлое настоящее, будущее [Текст]: Материалы I-х Гордеевских чтений / Отв. Ред. И.М. Плаксин. – Курск: Изд-во Курского обл. краевед. музея, 2013. – С.80-84 и др..
10. Кончин Е.В. Эмиссары восемнадцатого года. - М.: Московский рабочий, 1981. - 160 с.; Кончин Е.В. "Марьино" август восемнадцатого... - Курск, 2001. - 160 с.;
11. Фёдоров С.И. Марьино. - М., 1989.- 192 с.; Фёдоров С.И. Марьино князей Барятинских. - Курск, 1994. - 224 с.; Фёдоров С.И. Скульптура усадьбы "Марьино". - Курск, 2002. - 176 с. и др.
12. Проект восстановления палат Мазепы в Рыльском районе Курской области. Архитектор А.Ю. Ехае-ким. 1940-е – 1950-е гг. - Госархив Курской области ф. Р-623, оп.4, д.582-585.
13. Холодова Е.В. Головчино – явное и тайное (история курской усадьбы Хорватов). - Курск, 2012. - 11 с.
14. Холодова Е.В. Пореформенные усадьбы Курской губернии. 1861-1917 годы. - Курск, 2007. – С.337-341.
15. Усадьба А.А. Фета: Возрождение. – Курск: Комитет по культуре Курской области, Курский областной краеведческий музей, 2016. – 16 с.

Холодова Елена Васильевна

Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» НИИТИАГ, г. Москва

Кандидат архитектуры, член Союза архитекторов России; советник РААСН; ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института теории и истории архитектуры и градостроительства (НИИТИАГ) Филиала ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» (Москва); эксперт по проведению государственной историко-культурной экспертизы.

E-mail: tora-9@yandex.ru

E.V. KHOLODOVA

A HALF-CENTURY MANOR KURSK MUSEUMS: PROJECTS, PRACTICE AND PROSPECTS

First presented is a brief study of the history of the manor museums on the territory of Kursk region (modern Kursk and Belgorod region) for half - the second half of the twentieth century and the turn of XX-XXI centuries. Also considered the experience of the past, for example the preservation of the manor house (early eighteenth century) in Borisovka Sheremetev. Identified the problems of the preservation of estate collections and values of Kursk region, stored in the collections of the Kursk regional Museum of local lore, regional Museum of Rylysk and others. First presented archival materials and drawings are not executed in the implementation of working project of reconstruction of the complex of the estate of Ivanovskoe of Hetman Mazepa. The study provides combined information on existing estate exposures in Marino, Bogoslovka, Golovchino, Vinnikova, Bilyi kolodyaz ' for inclusion in the tourist routes on the theme of "Country estates of Kursk region". The material presented about a recent event in the modern history of the manor of Kursk, which is the revival of Vorobievka, with the program of reconstruction of the Museum-estate of Afanasy FET.

Key words: Kursk region (province), farmstead museums, restoration, conservation, projects, museums, estates, collections, collections, exhibits.

REFERENCES

1. Fakt istorii ili vymysel ? (K voprosu o prebyvanii Petra I v Borisovke) // Istoriya Borisovsko-go kraya. – Belgorod: Belgorodskaya oblastnaya tipografiya, 2008. – S.44-46.
2. Sheremetev, S.D. Bogoroditskiy Tikhvinskiy monastyr' Kurskoy gubernii, osnovannyi fel'dmar-shalom gr. B.P. Sheremetevym 1713-1913 / S.D. Sheremetev. – M.: Samodel'naya tipografiya, 1914. – S.215-217.
3. Delo o postroyke shatra v sl. Borisovke nad domikom, v kotorom graf B.P. Sheremetev prinimal Petra I. 1844-1845 gg. - Rossiyskiy gosudarstvennyy istoricheskiy arkhiv. f.1088, op.6, d.1255.
4. Domik Petra Velikogo v slobode Borisovke // Trudy Kurskogo gubernskogo statisticheskogo komi-teta. – Kursk: Tipografiya Gubernskogo pravleniya, 1863. – S. 579-581.
5. Raport Grayvoronskogo uyezdnogo ispravnika v Kurskiy statisticheskiy komitet o pamyatnikakh stariny. 25 yan-varya 1902 g. - Gosarkhiv Kurskoy oblasti. f.4, op.1, d.123.
6. Sanitskiy A.V., Sanitskaya G.A. O nekotorykh osobennostyakh muzeyev Kurskoy oblasti // Muzeyefikatsiya pa-myatnikov istorii i kul'tury Kurskogo kraya: proshloye nastoyashcheye, budushcheye [Tekst]: Materialy I-kh Gordeyev-skikh chteniy / Otv. Red. I.M. Plaksin. – Kursk: Izd-vo Kurskogo obl. krayeved. muzeya, 2013. – S.20-23.
7. Cklyaruk V.I. Sobirayem tserkovnyy otdel // Muzeyefikatsiya pamyatnikov istorii i kul'tury Kursko-go kraya: proshloye nastoyashcheye, budushcheye [Tekst]: Materialy I-kh Gordeyevskikh chteniy / Otv. Red. I.M. Plaksin. – Kursk: Izd-vo Kurskogo obl. krayeved. muzeya, 2013. – S.42-46.
8. Manuylova S.V. Zemskaya deyatel'nost' po razvitiyu muzeynogo dela v Kurskoy gubernii v nachale KHKH veka // Muzeyefikatsiya pamyatnikov istorii i kul'tury Kurskogo kraya: proshloye nastoyashcheye, budushcheye [Tekst]: Materialy I-kh Gordeyevskikh chteniy / Otv. Red. I.M. Plaksin. – Kursk: Izd-vo Kurskogo obl. krayeved. muzeya, 2013. – S.75-80.
9. Biryukov A.YU. Istoriya razvitiya muzeynogo dela v g. Fatezhe // Muzeyefikatsiya pa-myatnikov istorii i kul'tury Kurskogo kraya: proshloye nastoyashcheye, budushcheye [Tekst]: Materialy I-kh Gordeyevskikh chteniy / Otv. Red. I.M. Plaksin. – Kursk: Izd-vo Kurskogo obl. krayeved. muzeya, 2013. – S.80-84 i dr.
10. Konchin Ye.V. Emissary vosemnadsatogo goda. - M.: Moskovskiy rabochiy, 1981. - 160 s.; Konchin Ye.V. "Mar'ino" avgust vosemnadsatogo... - Kursk, 2001. - 160 s.
11. Fodorov S.I. Mar'ino. - M., 1989.- 192 s.; Fodorov S.I. Mar'ino knyazey Baryatin-skikh. - Kursk, 1994. - 224 s.; Fodorov S.I. Skul'ptura usad'by "Mar'ino". - Kursk, 2002. - 176 s. i dr.
12. Proyekt vosstanovleniya palat Mazepy v Ryl'skom rayone Kurskoy oblasti. Arkhitekt A.YU. Yekha-uyekim. 1940-ye – 1950-ye gg. - Gosarkhiv Kurskoy oblasti f. R-623, op.4, d.582-585.
13. Kholodova Ye.V. Golovchino – yavnoye i taynoye (istoriya kurskoy usad'by Khorvatov). - Kursk, 2012. - 11 s.
14. Kholodova Ye.V. Poreformennyye usad'by Kurskoy gubernii. 1861-1917 gody. - Kursk, 2007. – S.337-341.
15. Usad'ba A.A. Feta: Vozrozhdeniye. – Kursk: Komitet po kul'ture Kurskoy oblasti, Kurskiy ob-lastnoy krayeved-cheskoy muzey, 2016. – 16 s.

E.V. Kholodova

Branch of "TSNIIP of the Ministry of construction of Russia" NIITAG, Moscow

candidate of architecture, member of the Union of architects of Russia, Advisor of RAACS; leading researcher, research Institute of theory and history of architecture and urban planning (NIITAG) branch of "TSNIIP of the Ministry of construction of Russia" (Moscow); expert in carrying out state historical and cultural expertise, lives and works in Kursk.

E-mail: tora-9@yandex.ru

УДК 666.971

БАГДАСАРОВ А.С., ПУПКОВА А.Ю.

ПЕНОГИПСОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ВЯЖУЩИХ ИЗ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены задачи производства поризованных гипсовых изделий на местном гипсовом вяжущем в Карачаево-Черкесской республике. Предложена технология производства пеногипса, в основе которой принята технология производства пенобетона методом «сухой» минерализации пен. Выбор пенообразователя выполнен сравнительной оценкой исследованных параметров пенообразователей различных классов. Разработана методика проектирования составов пеногипса для получения изделий заданной средней плотности. Определены граничные условия получения стеновых пеногипсовых изделий из местного гипсового вяжущего, соответствующих требованиям ГОСТ. С использованием современных методов исследований установлено, что пеногипсовые изделия удовлетворяют требованиям стандартов для производства соответствующих строительных изделий и работ.

Ключевые слова: пеногипсовые изделия; «сухая» минерализация пен; гипсовое вяжущее; технические плотные пены; кратность пены; водотвердое отношение; пеногенератор; текучесть; прочность; влажность; теплопроводность; макро- и микропористость.

Проблема сокращения энергозатрат на содержание и отопление зданий является актуальной и одним из направлений решения данной проблемы в КЧР является разработка производства поризованных гипсовых изделий на местном гипсовом вяжущем (ГВ) Усть-Джегутинского гипсового комбината. Актуальной задачей также является удовлетворение требований к теплоизолирующей способности изделий, что ведет к экономии материальных и энергоресурсов как при строительстве, так и эксплуатации зданий. Кроме того, применение эффективных поризованных изделий в ограждающих конструктивных элементах зданий улучшает комфортные условия внутри здания, как в холодный период года, так и в жаркий летний период года.

В связи с этим целью и задачей научной работы является получение пеногипсовых изделий на основе местного ГВ.

Пеногипсовые (ПГ) изделия возможно получать по методу «сухой» минерализации пен, разработанному в Московском государственном строительном университете (бывший МИСИ) [1]. При этом, техническая устойчивая пена заданной проектной кратностью подается в смеситель с вертикальным валом, а затем ее минерализуют сухим гипсовым вяжущим, которое, вступая в химическое взаимодействие с водой, находящейся в межпоровых перегородках пены, «бронирует» воздушные пузырьки пены, не позволяя им разрушаться и понижать кратность пеномассы.

Метод «сухой» минерализации технических пен имеет технологические преимущества по сравнению с традиционной схемой получения пенобетонов. Данный метод позволяет получать поризованные гипсовые изделия с заданной проектной плотностью. При этом образцы изделий обладают физико-механическими свойствами, прогнозируемыми на стадии проектирования составов [1-3].

Основными задачами исследований являются:

- 1) предложить технологию пеногипса на основе местных ГВ;
- 2) предложить расчет проектных составов пеногипса для строительных изделий различного назначения;

3) исследовать строительно-технические свойства пеногипсовых изделий.

Научная новизна работы:

1. Разработана методика проектирования составов пеногипса заданной средней плотности.
2. Определены граничные условия получения пеногипсовых изделий на основе местных ГВ, соответствующих требованиям ГОСТ.

В предложенном методе получения пеногипсовых масс отличительной особенностью является использование технологических свойств плотных пен – пен с низкой кратностью. Известно [1, 2, 4, 5], что плотные пены имеют сравнительно тонкодисперсную однородную структуру, состоящую из сферических воздушных пузырьков, разделенных толстыми жидкими прослойками, и, как следствие, характеризуются повышенным содержанием жидкой фазы, не перешедшей в адсорбционные слои и текучестью. Эти факторы определяют технологичность данных пен – малый расход пенообразователя, простота транспортировки и дозирования, обеспечение коротких сроков получения гомогенной массы и их высоких литевых свойств. В связи с чем была исследована возможность получения пеногипса плотностью в сухом состоянии $400-1000 \text{ кг/м}^3$ для изделий различного назначения.

В лабораторных условиях в качестве смесителя нами использовалась скоростная лопастная вертикальная мешалка (СЛВМ), с частотой вращения вала мешалки 750 об/мин.

В качестве исходных материалов применяли гипсовое вяжущее марки Г-6 Усть-Джегутинского гипсового комбината. В качестве пенообразователя (ПО) нами выбран пенообразователь окись алкилдиметиламина (окись амина). Выбор ПО выполнен с учетом его совместимости с гипсовым вяжущим. При этом исследовались ПО различных классов. Исследования проводили для получения пеногипса средней плотностью 900 кг/м^3 .

Исследовались следующие параметры:

- минимально необходимый расход ПО для получения пеногипса;
- коэффициент выхода пеномассы ($K_{вп}$);
- кратность пены ($K_{п}$);
- величина осадки пены при ее минерализации;
- величина осадки пеногипсовой массы при созревании в формах.

Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Влияние вида пенообразователя на параметры пеногипсовой массы

Вид ПО	Расход ПО, масс. % воды	$K_{п} / K_{вп}$	Величина осадки пены при минерализации, %	Величина осадки ПГ массы при созревании, %
ПО-2А («Прогресс»)	0,5	4,5/1,5	18-20	3,5
САМПО	0,2	4/1,4	20-25	5
Неопор-300	0,5	3/1,6	10-14	2
Окись амина	0,1	2,5/1,8	0,5-2	0

По полученным данным минимально-необходимые расход ПО и кратность пены для получения ПГ плотностью 900 кг/м^3 составили у окиси амина. Величина осадки пены из окиси амина при минерализации ГВ на несколько порядков меньше по сравнению с другими, а осадка ПГ массы при созревании в формах вообще не обнаружена. Что объясняется природой пенообразователя - его совместимостью с гипсовым вяжущим при минерализации и при созревании ПГ массы в формах. На основании полученных данных предпочтение отдано окиси амина, которую использовали в дальнейших исследовательских и опытных работах. В лабораторных условиях были получены образцы пеногипсовых изделий средней плотностью $400-1000 \text{ кг/м}^3$, прочностью соответственно 0,4-4,8 МПа. Зависимость прочности изделий от плотности представлена на рисунке 1.

Контроль прочности образцов ПГ на сжатие выполняли по ГОСТ 23789-79 и ГОСТ 10180-2012. Для проведения испытаний применяли образцы – кубы с ребрами размерами 15х15х15 см. Образцы заливали в лабораторные формы из пеногипсовой массы. Контрольные образцы испытывали через 28 суток выдерживания в естественных условиях до состояния равновесной влажности.

Данные рисунка 1 показывают, что с уменьшением плотности пеногипса, снижается его прочность, при этом в интервале средней плотности 600-1000 кг/м³ эта зависимость близка к линейной, что обусловлено формированием более рациональной структуры ПГ средней плотности 600-1000 кг/м³ с равномерным распределением пор в объеме материала и более однородной толщиной межпоровых перегородок.

На основании полученных результатов изготовление пеногипса плотностью менее 400 кг/м³ из гипсового вяжущего марки Г-6, признано нецелесообразным из-за существенного снижения прочности материала.

Прочность ПГ изделий в значительной степени зависит от их влажности, в связи с чем были проведены исследования изменения прочностных свойств образцов, подвергнутых водонасыщению. При этом установлено, что прочность водонасыщенных образцов значительно понижается. Одной из причин понижения прочности пористых материалов является значительное ослабление контактов кристаллов межпоровых перегородок, что и обуславливает сравнительно низкую прочность. В сухом материале нет условий для межкристаллизационного скольжения.

По данным этих исследований и проведенных экспериментов, можно сделать вывод о том, что фасадную поверхность конструкции, выполненной из ПГ камней следует облицовывать или обрабатывать гидрофобными составами, которые не образуют воздухонепроницаемую пленку. Так, по [6] многолетние наблюдения за зданиями из плотного гипсобетона показали, что наиболее удовлетворительно состояние зданий, фасады которых окрашены известковыми красками с добавлением 5% олифы.

Исследованиями установлено, что пеногипс плотностью 400-700 кг/м³ возможно использовать для устройства самонивелирующихся теплоизоляционных стяжек и теплоизоляционных слоев в стенах, а изделия плотностью 800-1000 кг/м³ – для возведения стен малоэтажных коттеджных зданий и ограждающих самонесущих стен в каркасных многоэтажных зданиях.

Также выполнены исследования пористой структуры и теплопроводности ПГ изделий. Известно, что общая пористость материала с ячеистой структурой образуется из ячеистой пористости (макропористости) и пористости межпоровых перегородок (микропористости). По [7] на долю ячеистой пористости приходится примерно 90% от общего ее объема.

Объем ячеистой пористости определяется пространственным расположением пор (их упаковкой), распределением пор по размерам, максимальным и средним размером пор, их формой, толщиной межпоровых перегородок. Увеличение диаметра пор приводит к повышению объема пористости за счет уменьшения числа межпоровых перегородок и наоборот. Однако, в крупных порах заметно возрастает конвективный теплообмен и теплопроводность такого материала, несмотря на возрастание объема газовой фазы, не снижается. Поэтому необ-

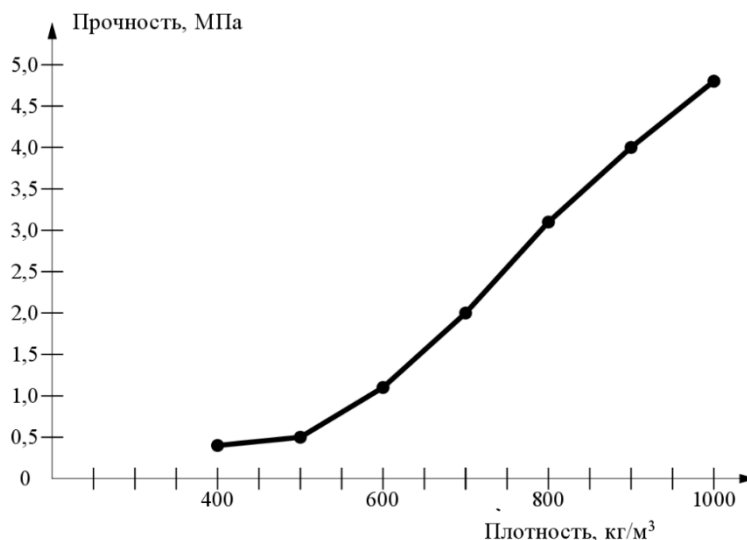


Рисунок 1 - Зависимость прочности пеногипса от плотности

ходимо стремиться к созданию мелкопористой структуры с равномерным распределением пор в объеме материала. При условии равномерного распределения пор всех диаметров и при их количественном соотношении 1:1:1:1 – может быть достигнут наибольший объем пористости [7].

Анализ макроструктуры образцов конструкционно-теплоизоляционного пеногипса показал, что в пеногипсе плотностью 800 кг/м^3 средний диаметр пор равен $0,38 \text{ мм}$, распределение пор по размерам двухмодальное, поры имеют сферическую форму, нарушений сплошности стенок пор не наблюдается. С повышением средней плотности ПГ средний размер пор снижается и составляет для плотности $1000 \text{ кг/м}^3 - 0,27 \text{ мм}$.

Теплопроводность является главной характеристикой теплозащитных свойств поризованных теплоизоляционных изделий. Известно [7, 8], что влажность ячеистых бетонов существенно влияет на данный показатель. По [7] на каждый процент влажности прирост теплопроводности составляет 7-8,5%. В связи с чем, как уже отмечалось выше, ПГ изделия следует предохранять от увлажнения.

Коэффициент теплопроводности пеногипса определяли по ГОСТ 7076-99, отбор образцов по ГОСТ 10180-2012. Было определено, что для ПГ плотностью 500 кг/м^3 коэффициент теплопроводности составил $0,09 \text{ Вт/мК}$, что коррелируется с данными, полученными ранее в МГСУ (бывший МИСИ) [9] для пеногипса аналогичной плотности, изготовленного методом «сухой минерализации» пен.

В процессе исследовательских работ нами разработана методика проектирования составов пеногипса заданной средней плотности. Методика включает определение расхода ГВ, расхода воды и пенообразователя, определения В/Т отношения. Проектирование составов ПГ предложено вести исходя из заданной проектной средней плотности материала ($\rho_{\text{П}}$, кг/м^3), равной в данном случае расходу двухводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Величина последнего включает расход полуводного гипсового вяжущего и количество химически связанной воды ($\approx 18 \text{ масс} \cdot \% \text{ гипсового вяжущего}$). С учетом гигроскопической влаги пеногипсового изделия и расхода добавок, проектная средняя плотность определяется по формуле:

$$\rho_{\text{П}} = 1,23(\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}) \text{ или } \rho_{\text{П}} = 1,23 \cdot \text{ГВ} , \quad (1)$$

где ГВ – гипсовое вяжущее.

Откуда определяют требуемый расход ГВ

$$\text{ГВ} = \frac{\rho_{\text{П}}}{1,23} \quad (2)$$

Расход расчетных сухих компонентов смеси (ГВ, добавок) составит твердую часть (Т) проектируемого состава пеногипса, которую (после соответствующих преобразований) рекомендуется определять по формуле:

$$T = 0,84 \cdot \rho_{\text{П}} \quad (3)$$

С учетом В/Т отношения, принимаемого по результатам предварительных экспериментов, равном $0,6 - 0,7$ определяют общее содержание воды (В) в смеси пеногипса:

$$B = 0,65 \cdot T \quad (4)$$

Расчетную плотность пеногипсовой массы в мокром состоянии (кг/м^3) определяют по формуле:

$$\rho_{\text{П-мокр}} = T + B = 1,65T \quad (5)$$

Расход пенообразователя принимают не более $0,1 \text{ масс} \cdot \% \text{ В}$ (таблица 1).

Для проверки расчетных значений расхода пенообразователя в лаборатории готовят пробные замесы и уточняют необходимый расход пенообразователя с учетом химического и механического пеногашения при ее минерализации. Расчет ведется по формуле:

$$K_{ВП}^{тр} = K_{П} \frac{\rho_{Ф-мокр}}{\rho_{П-мокр}} \quad (6)$$

где $K_{ВП}^{тр}$ - требуемый коэффициент выхода пеногипсовой массы;

$K_{П}$ - расчетная кратность пены;

$\rho_{Ф-мокр}$ - фактически полученная плотность пеногипсовой массы в мокром состоянии, кг/м^3 .

Расчётный состав проверяется и при необходимости уточняется на пробных замесах.

В результате исследовательских и опытно-промышленных работ предложена технология производства пеногипса из ГВ. В основу предлагаемой технологии принята технология производства пенобетона методом «сухой» минерализации пен, разработанной в Московском государственном строительном университете [1-3].

Принципиальная технологическая схема производства пеногипса представлена на рисунке 2.

По предложенной технологической схеме были получены опытные образцы мелкоштучных пеногипсовых стеновых блоков плотностью $800-1000 \text{ кг/м}^3$, удовлетворяющих ГОСТ 6133-84.

По [3] данная технология пенобетонов может применяться и в построечных условиях при монолитном домостроении.

Таким образом, с использованием современных методов исследований установлено, что пеногипсовые изделия из Усть-Джегутинского гипса марки Г-6 удовлетворяют требованиям стандартов для строительных теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных изделий плотностью $400-1000 \text{ кг/м}^3$.

Разработана методика проектирования составов ПГ для получения изделий заданной средней плотности и предложена технология ПГ изделий на основе местных ГВ.

В дальнейшем планируется выполнить оптимизацию технологических и рецептурных параметров производства по методикам [10, 11] и разработать технологический регламент и исходные данные местным гипсовым заводам на проектирование линии по производству пеногипсовых строительных изделий.

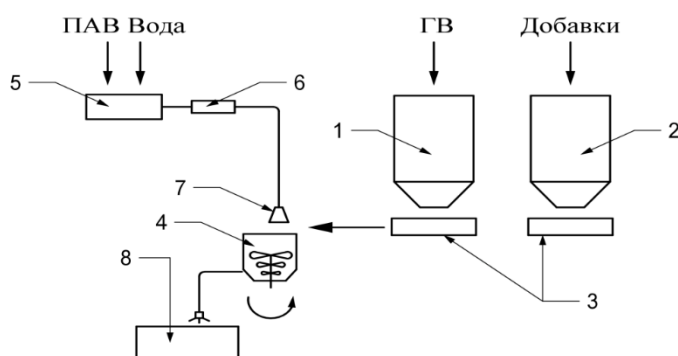


Рисунок 2 - Принципиальная технологическая схема производства пеногипса

- 1 – бункер ГВ; 2 – бункер добавок; 3 – весовой дозатор;
4 – скоростная лопастная вертикальная мешалка;
5 – бак водного раствора ПО; 6 – насос;
7 – пеногенератор; 8 – формы для изделий

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология заливочного пеногипса /А. П. Меркин, Т. Е. Кобидзе, А. П. Никитин, Е. А. Зудяев // Сельское строительство. – 1988. – №12.

2. В стационарном и мобильном вариантах / А. П. Меркин, Т. Е. Кобидзе, Е. А. Зудяев // Механизация строительства. – 1990. – №10. – С. 7–9.
3. Мобильная установка для приготовления и подачи пенобетонов «сухой» минерализации для монолитного домостроения / А. П. Меркин, Е. А. Зудяев, И. Г. Селезнев и др. // Строительные и дорожные машины. – 1994. – №12.
4. Тихомиров В. К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения / В. К. Тихомиров. – М.: Химия, 1975. – 256 с.
5. Меркин А. П. Непрочное чудо / А. П. Меркин, П. Р. Таубе. – М.: Химия, 1983. – 224 с.
6. Ферронская А. В. Долговечность гипсовых материалов, изделий и конструкций / А. В. Ферронская. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
7. Горлов Ю. П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий / Ю.П. Горлов. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.
8. Домокеев А. Г. Строительные материалы / А. Г. Домокеев. – М.: Высшая школа, 1989. – 495 с.
9. Теплоизоляционные материалы из пеногипса и пенобетона / А. П. Меркин, Т. Е. Кобидзе, Е. А. Зудяев // Экспресс информация МИСИ им. В. В. Куйбышева. – 1989.
10. Вознесенский Т. В. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Б. Л. Огарков. – Киев: Высшая школа, 1989. – 328 с.
11. Вознесенский Т. В. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Я. П. Иванов, И. И. Николов. – Киев: Будивельник, 1989. – 240 с.

Багдасаров Александр Сергеевич

Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия, г. Черкесск
Кандидат технических наук, доцент

Пупкова Антонина Юрьевна

Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия, г. Черкесск
Магистрант 2 курса института Строительства и электроэнергетики
E-mail: trud-13@mail.ru

A.S. BAGDASAROV, A.YU. PUPKOVA

**PENYOGIPS PRODUCTS BASED ON BINDERS
FROM LOCAL MATERIALS**

The considered problem of production of porous gypsum products in local gypsum binder in the Karachay-Cherkess Republic. The proposed technology of production of foamed gypsum, which adopted the technology of foam concrete production method of dry mineralization of the pen. The choice of foaming agent comparative evaluation of the investigated parameters of the blowing agents of different classes. The developed method of designing compositions of foam plaster for obtaining products for a given average density. Defined boundary conditions for the obtaining of the wall of foam products from local gypsum binder conforming to the requirements of GOST. Using modern research methods found that foam products meet the requirements of the standards for the production of appropriate construction products and works.

Keywords: foam products; "dry" mineralization pins; knitting plaster; dense foam; the ratio of the foam; water treatment; foam generator; fluidity; strength; moisture content; thermal conductivity; macro - and microporosity.

REFERENCES

1. Tekhnologiya zalivochnogo penogipsa / A. P. Merkin, T. Ye. Kobidze, A. P. Nikitin, Ye. A. Zudyayev // Sel'skoye stroitel'stvo. – 1988. – №12.
2. V statsionarnom i mobil'nom variantakh / A. P. Merkin, T. Ye. Kobidze, Ye. A. Zudyayev // Mekhanizatsiya stroitel'stva. – 1990. – №10. – S. 7–9.

3. Mobil'naya ustanovka dlya prigotovleniya i podachi penobetonov «sukhoj» mineralizatsii dlya mono-litnogo domostroyeniya / A. P. Merkin, Ye. A. Zudyayev, I. G. Seleznev i dr. // Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny. – 1994. – №12.
4. Tikhomirov V. K. Peny. Teoriya i praktika ikh polucheniya i razrusheniya / V. K. Tikhomirov. – M.: Khimiya, 1975. – 256 s.
5. Merkin A. P. Neprochnoye chudo / A. P. Merkin, P. R. Taube. – M.: Khimiya, 1983. – 224 s.
6. Ferronskaya A. V. Dolgovechnost' gipsovykh materialov, izdeliy i konstruktsiy / A. V. Ferronskaya. – M.: Stroyizdat, 1984. – 256 s.
7. Gorlov YU. P. Tekhnologiya teploizolyatsionnykh i akusticheskikh materialov i izdeliy / YU.P. Gorlov. – M.: Vysshaya shkola, 1989. – 384 s.
8. Domokeyev A. G. Stroitel'nyye materialy / A. G. Domokeyev. – M.: Vysshaya shkola, 1989. – 495 s.
9. Teploizolyatsionnyye materialy iz penogipsa i penobetona / A. P. Merkin, T. Ye. Kobidze, Ye. A. Zudya-yev // Ekspress informatsiya MISI im. V. V. Kuybysheva. – 1989.
10. Voznesenskiy T. V. Chislennyye metody resheniya stroitel'no-tekhnologicheskikh zadach na EVM / V. A. Voznesenskiy, T. V. Lyashenko, B. L. Ogarkov. – Kiyev: Vysshaya shkola, 1989. – 328 s.
11. Voznesenskiy T. V. EVM i optimizatsiya kompozitsionnykh materialov / V. A. Voznesenskiy, T. V. Lyashenko, YA. P. Ivanov, I. I. Nikolov. – Kiyev: Budivel'nyk, 1989. – 240 s.

A.S. Bagdasarov

North Caucasus State Humanitarian-Technological Academy, Cherkessk
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

A.Yu. Pupkova

North Caucasus State Humanitarian-Technological Academy, Cherkessk
Second year Master of Construction and Electricity Institute
E-mail: trud13@mail.ru

ГОНЧАРОВА М.А., КОМАРИЧЕВ А.В., КАРАСЕВА О.В.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ИНЪЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ДВУХСТАДИЙНОЙ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКОЙ СИСТЕМ ТВЕРДЕНИЯ

В статье рассмотрены проблема создания непроницаемого контура в защитных сооружениях специального строительства. Определены недостатки традиционных способов заделки трещин в железобетонных ограждающих конструкциях. Предложены составы цементных композиционных инъекционных материалов, обладающие заранее заданными прочностными и реологическими свойствами, а также технология заполнения полостей стыков между сборными железобетонными изделиями и при омоноличивании металлических конструкций и вертикальных узких трещины за счет действия магнитных полей. Приведены результаты исследований процесса структурообразования и свойств цементных композиционных инъекционных материалов с ферромагнитным наполнителем из отходов промышленных производств с двухэтапной магнитной обработкой (сначала воды, затем водно-цементных смесей) для эффективной заделки трещин на поверхностях раздела бетон-бетон в вертикальных стыках крупнопанельных зданий и металл-бетон в железобетонных ограждающих конструкциях защитных сооружений специального строительства под воздействием внешнего локального магнитного поля.

Ключевые слова: цементные композиционные инъекционные материалы, ферромагнитный наполнитель, магнитная обработка, конвертерные шлаки.

В процессе специального строительства для нужд Вооруженных Сил страны и Гражданской обороны возводятся комплексы защитных сооружений (ЗС): командные пункты, убежища и другие, которые обеспечивают защиту людей, оборудования и техники от воздействия радиоактивных, химических веществ, электромагнитных и ионизирующих излучений. Поэтому проблема создания непроницаемого контура в защитных сооружениях является остро актуальной задачей. При этом в материалах, применяемых для заполнения полостей стыков между сборными железобетонными изделиями и при омоноличивании металлических конструкций в ограждающих железобетонных конструкциях защитных сооружений (защитно-герметичных входов и вводов инженерных коммуникаций), при возникновении деформаций усадки и ползучести образуются тонкие вертикальные трещины и пустоты. Сквозь указанные дефектные места внешнего контура герметизации ЗС, во внутреннее пространство сооружений может проникнуть опасная наружная среда [1, 2].



Рисунок 1- Трещина в бетоне на контакте с металлом в опытных образцах

Подобная проблема существует в промышленном и гражданском строительстве при заполнении трещин в вертикальных стыках крупнопанельных зданий, а также в монолитных железобетонных конструкциях транспортных сооружений (тоннелей, мостов и других).

Известно, что основными местами затекания наружного воздуха с вредными загрязнителями (радиоактивными, химическими и биологическими веществами) в сборные и сборно-монолитные защитные сооружения являются трещины в стыках между железобетонными конструкциями и в зоне контакта бетона с металлическими изделиями защитно-герметичных входов и вводов инженерных коммуникаций. Были проанализированы условия возникновения узких трещин (с шириной раскрытия от 0,1 до 10 мм), показано, что избежать их образования на технологическом этапе невозможно. На рисунке 1 показан конкретный случай образования трещин в бетоне на контакте с металлическими деталями конструкций, смоделированный в процессе экспери-

ментальных исследований.

Инъецирование трещин и пустот в зоне контактных поверхностей «бетон-бетон» в вертикальных стыках крупнопанельных зданий и «металл-бетон» в ограждающих конструкциях ЗС до настоящего времени производят, в основном, способом цементации. Сущность такого способа заключается в длительном пропуске через трещины цементных смесей с высоким содержанием воды, в результате чего цементный раствор медленно твердеет, закупоривая дефектные места. Такой способ не обеспечивает необходимую степень герметичности ЗС, так как в процессе закачивания очередной порции раствора с высокой подвижностью, первичная структура цементного камня разрушается. В конечном итоге, такая технология предусматривает высокий расход не только компонентов раствора, но и электроэнергии.

Таким образом, для решения данной проблемы необходимо предложить составы цементных композиционных инъекционных материалов (ЦКИМ), обладающих заранее заданными прочностными и реологическими свойствами, обеспечивающими эффективность новой технологии их нагнетания в вертикальные узкие трещины за счет действия магнитных полей. В такой постановке обязательным компонентом цементных композиционных инъекционных материалов является ферромагнитный наполнитель. При этом, с целью снижения стоимости разработанных составов, принято решение использовать отходы металлургического производства ПАО «Новолипецкий МК» – сталеплавильные (конвертерные) шлаки и продукты обточки металла электрокорундом, которые являются актуальным альтернативным сырьевым ресурсом Липецкого региона. Тем более известно, что в настоящее время, несмотря на прилагаемые усилия, проблема применения в строительстве техногенного сырья до сих пор не решена. При этом решаются сразу две задачи: использование вместо природного техногенного сырья и производство строительных материалов и изделий на их основе, а также значительное снижение экологической нагрузки на регион с развитой промышленностью (в том числе за счет устранения или уменьшения складирования не востребуемых отходов) [3].

В процессе работы были определены проблемы традиционных способов заделки трещин в железобетонных ограждающих конструкциях способами цементации, силикатизации и смолизации.

На кафедре строительных материалов Липецкого ГТУ были разработаны магнитные герметизирующие композиционные материалы (МГКМ) с ферромагнитным наполнителем. Однако, применение эпоксидных материалов в специальном строительстве проблематично (из-за относительно низкой тепло- и огнестойкости), а в гражданском строительстве – экономически неэффективно.

Выявлено, что при заполнении дефектных мест в железобетонных ограждающих конструкциях защитных сооружений, в том числе и на контакте металл-бетон, следует применять цементные растворы. Но при этом необходимо учесть недостатки традиционной технологии цементации: нагнетаемая в дефектные места цементная смесь движется с небольшой скоростью под небольшим давлением, вытесняя при этом воду или воздух, постепенно заполняя трещины и пустоты. Цементный раствор не остается в покое, так как продолжающееся нагнетание смесей размывает его, вследствие чего граница отложения инъецируемых смесей отодвигается. То есть определенный объем материала постоянно захватывается нагнетаемым раствором и перемещается вглубь трещины, и только малая его часть остается на месте и превращается в цементный камень. Таким образом, герметично заполнить всю трещину не удастся. При этом, практически невозможно обеспечить необходимую прочность (исходя из анализа работ – выше 28 МПа) тампонажных материалов с В/Ц от 0,8 до 1,0 и более, которыми и заполняют узкие трещины. В защитных сооружениях с вертикальными трещинами ситуация осложняется еще и тем, что после снятия давления нагнетания из-за действия силы тяжести инъекционный раствор вытекает из трещин.

Перспективность двухэтапной магнитной обработки воды и водно-цементных смесей ЦКИМ предполагалась на основе следующих предпосылок:

1. Предлагаемая технология нагнетания базируется на разработках и результатах, известных из работ отечественных ученых (проф. Ерофеева В.Т., Баженова Ю.М., Федосова С.В. и других). При этом активация на первом этапе воздействием магнитного поля улучшает

структуру и свойства воды (жидко-кристаллическую структуру, жесткость, удельное электрическое сопротивление и другие) [4, 5, 6].

2. На втором этапе воздействие на цементные композиционные инъекционные материалы магнитного поля (по нашему предположению) должно создать в их системах твердения (с ферромагнитным наполнителем) дополнительный электрический потенциал на формируемых поверхностях гидратных кластеров, за счет которого улучшаются все физико-химические процессы (в том числе степень гидратации вяжущих). Это позволит улучшить прочностные, адгезионные, реологические и магнитные свойства ЦКИМ.

Созданное внешнее локальное магнитное поле при этом выполняет несколько функций:

- изменением силы тока в катушке оно регулирует вязкость смеси: либо снижая ее для подачи в узкие трещины, либо увеличивая при заделке широких трещин;
- удерживает смеси в трещинах до отверждения, препятствуя ее вытеканию из дефектного места под действием собственной тяжести;
- обеспечивает подачу смесей в удаленные периферийные места трещины за счет действия втягивающей магнитной силы постоянного магнитного поля;
- наличие втягивающей магнитодвижущей силы обеспечивает снижение давления нагнетания смеси, в результате чего уменьшаются энергетические и материальные затраты процесса инъекционных работ.

Составы ЦКИМ приведены в таблице. Расход цемента варьировался от 200 кг/м³ до 300 кг/м³.

Таблица 1 - Составы инъекционных материалов

Номер состава	Составы ЦКИМ (соотношение компонентов)		Параметры активации	
	В/Ц	наполнитель/цемент	время, t, с	импульс, It, А·с
1	0,50	0,10	20	10
2	0,75			
3	0,50	0,20		
4	0,75			
5	0,50	0,10	60	30
6	0,75			
7	0,50	0,20		
8	0,75			

Экспериментальные результаты оценки двухэтапной магнитной обработки воды и водных систем смесей приведены на рисунке 2.

На наш взгляд, на первом этапе магнитной обработки воды за счет электромагнитного импульса локального постоянного магнитного поля происходит некоторое выравнивание смещения оси заряда свободной электронной пары кислорода по отношению к оси гибридной орбитали в молекуле воды, в результате чего снижается величина дипольного момента и уменьшается степень поляризации воды. В связи с уменьшением указанных параметров степень гидратации зерен цемента в водных составах ЦКИМ увеличивается за счет уменьшения прочности ковалентных химических связей в молекуле воды.

Последующая обработка локальным магнитным полем водных систем смесей ЦКИМ электромагнитным потенциалом на втором этапе еще в большей мере снижает дипольный момент и полярность воды, путем увеличения валентного угла связей Н-О-Н, приближая его к величине тетраэдрического угла. Снижение дипольного момента и уменьшение степени полярности воды еще в большей мере уменьшает прочность ковалентных химических связей в молекулах воды, обеспечивая значительно большую степень гидратации цемента, в результате чего улучшаются реологические свойства смесей, повышаются прочностные и другие физико-механические характеристики ЦКИМ.

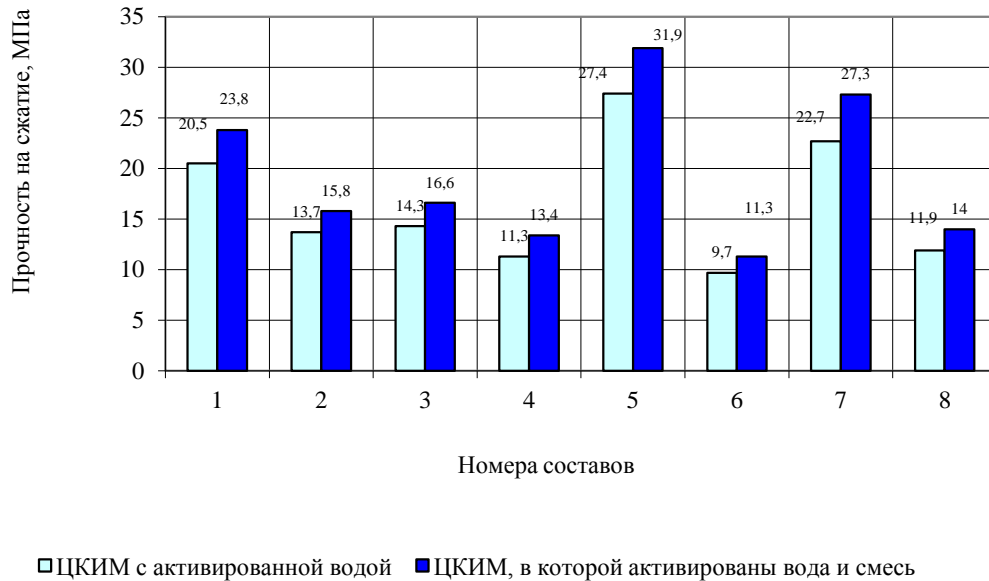


Рисунок 2 - Эффективность двухэтапной магнитной обработки ЦКИМ

На втором этапе под воздействием электромагнитного импульса на поверхностях частиц цемента и ферромагнитного наполнителя возникают разнозарядные потенциалы. В результате частицы цемента группируются вокруг частиц наполнителя, создавая кластерные образования, которые при твердении упрочняют цементную матрицу ЦКИМ (рисунок 3).

В результате были предложены различные варианты технологии заполнения трещин.

Активирование воды магнитным полем на первом этапе магнитной обработки, которая транспортируется из системы водоснабжения в растворосмеситель производилось путем пропуска трубопровода через полость катушки электромагнита. Таким же образом производилась магнитная обработка водных систем смесей ЦКИМ. То есть трубопровод со смесью ЦКИМ от растворонасоса также пропусклся через полость катушки электромагнита.

Время воздействия магнитного поля на воду и водные системы смесей ЦКИМ регулировалось их скоростью движения по трубопроводам. Параметры магнитного поля (индукция и напряженность) оценивались по величине силы тока, протекающего через катушку электромагнита.

Технологические схемы заполнения трещин инъекционными смесями ЦКИМ представлены на рисунке 4.

Заполнение в бетонных конструкциях отдельных широких трещин смесями ЦКИМ производится специальными шприцами. Заделка многочисленных трещин сосредоточенных в одном месте производится через специальные прижимные камеры с их полным заполнением инъекционной смесью. В последнем случае после схватывания смеси прижимная камера снимается, а излишки инъекционной смеси удаляются с бетонной поверхности шпателем.

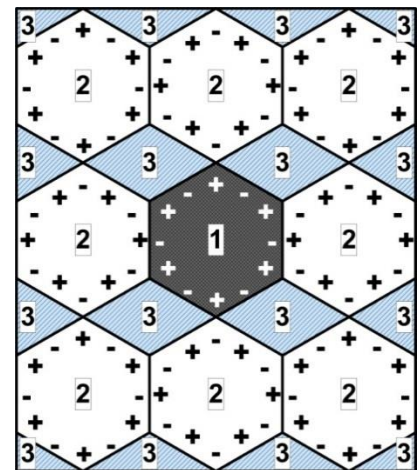


Рисунок 3 - Элемент кластерного образования в цементной матрице ЦКИМ: 1 - частица ферромагнитного наполнителя из тонкодисперсного шлака; 2 - частицы цемента; 3 - вода в замкнутых флоккулах

Технология заделки трещин в бетоне на контактных поверхностях с металлическими конструкциями входов (герметичные двери и люки защитных сооружений) и вводов в сооружения инженерных коммуникаций имеет свои особенности.

Нагнетание смесей в трещины производится через специальные штуцера равномерно установленные по периметру комингса дверей или по окружности фланца трубчатого ввода коммуникаций. Штуцера располагают посередине между двумя П-образными стойками электромагнита, последовательно переставляемого снизу-вверх в процессе инъекционной заделки трещин на контактных поверхностях металл-бетон, который создает в них локальное магнитное поле.

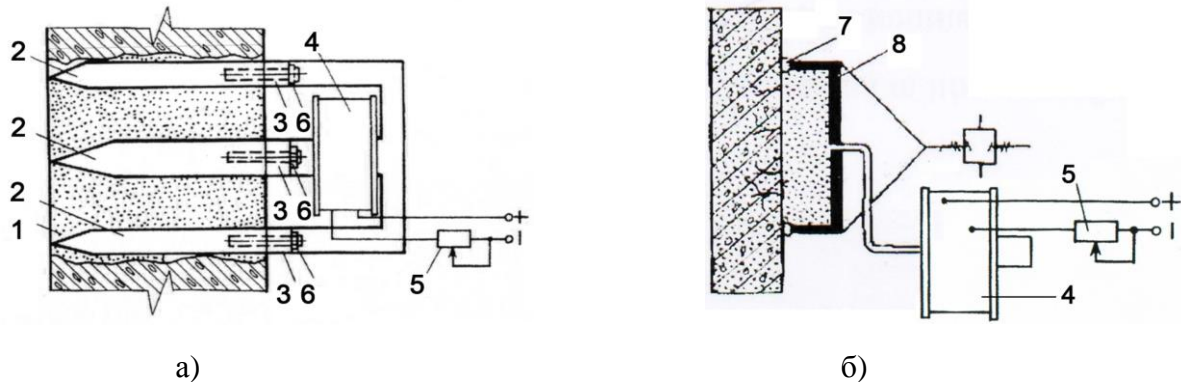


Рисунок 4 – Устройства для инъекционного уплотнения трещин в бетоне ограждающих конструкций сооружений: а – при помощи штырей; б – жесткая прижимная камера с телескопическим упором: 1 – трещина; 2 – штыри; 3 – полюсные наконечники; 4 – электромагнит; 5 – реостат; 6 – болты; 7 – герметик; 8 – прижимная камера

Нагнетание смесей в трещины на контакте металл-бетон в герметичных дверях и вводах коммуникаций в защитных сооружениях производится через штуцера, установленные по периметру комингса или обводу фланца ввода, начиная снизу-вверх. Смесь в нижний штуцер закачивается под первоначальным давлением 200 кПа до тех пор, пока она не покажется в следующем по высоте штуцере. Затем магнитное устройство (собственно электромагнит) переставляется между следующими смежными штуцерами и процесс инъекционной заделки продолжается [7].

Оценка технико-экономических показателей производилась путем сравнения базового и предлагаемого вариантов ЦКИМ. Таким образом, при более высокой прочности ЦКИМ и меньшей воздухопроницаемости [8] (то есть при более качественной инъекционной заделке трещин в бетоне ограждающих конструкций сооружений) применение предлагаемого варианта состава ЦКИМ дает экономический эффект 3088,85 руб. на 1 м³ тампонажной смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочарников А.С. Магнитные цементные тампонажные композиционные материалы: монография/А.С. Бочарников, М.А. Гончарова, А.В. Комаричев. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2015. – 140 с.
2. Гончарова М.А. Проблемы заделки трещин в ограждающих конструкциях защитных сооружений/ М.А. Гончарова, А.В. Комаричев, В.В. Крохотин//Проблемы современной науки: сборник научных трудов конференции Липецкого государственного технического университета. Липецк, 2016. - С. 93-96.
3. Гончарова М.А. Композиционные материалы на основе цементно-водных активированных систем для инъекционного уплотнения бетона ограждающих конструкций/ М.А. Гончарова, А.С. Бочарников, А.В. Комаричев. - Строительные материалы. -2015. -№ 5. - С. 31-34.
4. Мелкозернистый бетон на механомагнитоактивированной воде с добавкой суперпластификатора/ С.В. Федосов, М.В. Акулова, Т.Е. Слизнава, В.А. Падохин//Вестник МГСУ. -2012. -№ 5. - С. 120-127.
5. Федосов С.В. Анализ фазовых превращений в мелкозернистом бетоне на механомагнитоактивированной воде затворения в присутствии НА-КМЦ/ С.В. Федосов, М.В. Акулова, Т.Е., Слизнава, Касаткина В.И., Падохин В.А.//Вестник МГСУ. -2011. - № 1-1. - С. 238-243.

6. Баженов Ю.М. Цементные композиты на основе магнитно- и электрохимически активированной воды затворения: монография/ Ю.М.Баженов, С.В.Федосов, В.Т.Ерофеев и [др.] – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2011. – 128 с.

7. Гончарова М.А. Устройство для герметизации мест контакта металл-бетон в конструкциях защитных сооружений/ А.С. Бочарников, М.А. Гончарова, А.В. Комаричев, О.А. Ивашкина//Вестник Липецкого государственного технического университета. Липецк, 2015. - № 4 (26). - С. 52-55.

8. Гончарова М.А. Воздухопроницаемость как параметр оценки качества инъекционной заделки трещин в бетонных ограждающих конструкциях/ А.С. Бочарников, М.А., Гончарова, А.В. Комаричев, Н.А. Каширина. - Жилищное строительство. - 2015. - № 11. - С. 14-16.

Гончарова Маргарита Александровна

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк

Доктор технических наук, зав. кафедрой строительного материаловедения и дорожных технологий

E-mail: kaf-st@stu.lipetsk.ru

Комаричев Артем Викторович

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк

Ассистент кафедры строительного материаловедения и дорожных технологий

E-mail: kaf-st@stu.lipetsk.ru

Карасева Ольга Викторовна

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк

Инженер

E-mail: kaf-st@stu.lipetsk.ru

M.A. GONCHAROVA, A.V. KOMARICHEV, O.V. KARASEVA

COMPOSITE INJECTION MATERIALS OF THE TWO-STAGE MAGNETIC TREATMENT PROCESS OF SOLID SYSTEMS

The article considers the problem of creating impenetrable protective circuit in buildings of special construction. Identified shortcomings of the traditional methods of sealing cracks in reinforced concrete walling. The proposed composition of cement composite injectable materials having a predetermined strength and rheological properties, and fill the cavities of the joints between the precast concrete products and in the grouting of metal structures and narrow vertical cracks due to the action of magnetic fields. The results of studies of the process of structure formation and properties of cement composite injection materials with a ferromagnetic filler from waste of industrial production with two-stage magnetic treatment (first water, then water-cement mixtures) effective for sealing cracks at the interfaces concrete-the concrete in vertical joints of large-panel buildings and metal and concrete in reinforced concrete constructions protective special construction under the influence of external local magnetic field.

Keywords: cement composite injection materials, ferromagnetic filler, magnetic treatment process, converter slags.

REFERENCES

1. Bocharnikov A.S. Magnitnyye tsementnyye tamponazhnyye kompozitsionnyye materialy: monografiya/A.S. Bocharnikov, M.A. Goncharova, A.V. Komarichev. – Tambov: Izd-vo Pershina R.V., 2015. – 140 s.
2. Goncharova M.A. Problemy zadelki treshchin v ograzhdayushchikh konstruktsiyakh zashchitnykh sooruzheniy/ M.A. Goncharova, A.V. Komarichev, V.V. Krokhotin//Problemy sovremennoy nauki: sbornik nauchnykh trudov kon-ferentsii Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Lipetsk, 2016. - S. 93-96.
3. Goncharova M.A. Kompozitsionnyye materialy na osnove tsementno-vodnykh aktivirovannykh sistem dlya in'yeksionnogo uplotneniya betona ograzhdayushchikh konstruktsiy/ M.A. Goncharova, A.S. Bocharnikov, A.V. Komarichev. - Stroitel'nyye materialy. -2015. -№ 5. - S. 31-34.
4. Melkozernistyy beton na mekhanomagnitnoaktivirovannoy vode s dobavkoy superplastifikatora/ S.V. Fedosov, M.V. Akulova, T.Ye. Slizneva, V.A. Padokhin//Vestnik MGSU. -2012. -№ 5. - S. 120-127.

5. Fedosov C.B. Analiz fazovykh prevrashcheniy v melkozernistom betone na mekhanomagnitoaktivirovan-noy vode zatvoreniya v prisutstvii NA-KMTS/ C.B. Fedosov, M.B. Akulova, T.Ye., Slizneva, Kasatkina V.I., Pa-dokhin V.A.//Vestnik MGSU. -2011. - № 1-1. - S. 238-243.

6. Bazhenov YU.M. Tsementnyye kompozity na osnove magnitno- i elektrokhimicheski aktivirovannoy vody zatvoreniya: monografiya/ YU.M.Bazhenov, S.V.Fedosov, V.T.Yerofeyev i [dr.] – Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2011. – 128 s.

7. Goncharova M.A. Ustroystvo dlya germetizatsii mest kontakta metall-beton v konstruktsiyakh zashchitnykh sooruzheniy/ A.S. Bocharnikov, M.A. Goncharova, A.V. Komarichev, O.A. Ivashkina//Vestnik Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Lipetsk, 2015. - № 4 (26). - S. 52-55.

8. Goncharova M.A. Vozdukhopronitsayemost' kak parametr otsenki kachestva in'yektsionnoy zadelki treshchin v betonnykh ograzhdayushchikh konstruktsiyakh/ A.S. Bocharnikov, M.A., Goncharova, A.V. Komarichev, N.A. Kashirina. - Zhilishchnoye stroitel'stvo. - 2015. - № 11. - S. 14-16.

M.A. Goncharova

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Doctor of Technical Sciences, Head. Chair of Building Materials Science and Road Technologies

E-mail: kaf-st@stu.lipetsk.ru

A.V. Komarichev

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Assistant of the Chair of Building Materials Science and Road Technologies

E-mail: kaf-st@stu.lipetsk.ru

O.V. Karaseva

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Engineer

E-mail: kaf-st@stu.lipetsk.ru

СЕРГЕЙЧУК О.В.

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ НОРМ ПО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В УКРАИНЕ

С 1 мая 2017 г. в Украине введена в действие новая редакция ДБН В.2.6-31 «Тепловая изоляция зданий». Этот документ – имплементация Директивы Европарламента и Совета ЕС 2010/3/ЕС «Об энергетической эффективности зданий». Он базируется на разработанном в течение последнего десятилетия комплексе нормативных документов по энергоэффективности, который охватывает около 30 норм, стандартов и руководств по конструированию, испытанию теплотехнических показателей, расчёту и аудиту энергоэффективных зданий. В статье рассматриваются краткая история развития национальных строительных норм после провозглашения независимости страны. Проанализированы нормы по климатологии, теплотехнике, освещенности и инсоляции и их взаимосвязь с нормами по проектированию жилья. Показано постепенное ужесточение требований к тепловой изоляции зданий и совершенствование методов оптимизации световой среды помещений. Приводятся основные отличия новой редакции ДБН В.2.6-31 от ранее действующей. Основное внимание уделено проектированию здания как единого энергетического комплекса, включающего теплоизоляционную оболочку и систему климатизации. Представлена схема согласования национальных требований к проектированию и расчёту энергетических показателей здания с международными стандартами. Акцентируется необходимость проектирования солнцезащитных устройств с целью оптимизации инсоляционного режима помещений для их пассивного отопления зимой и защиты от перегрева летом. Разработанные нормы устанавливают минимальные требования энергоэффективности по спросу на энергию для отопления и охлаждения. Дальнейшее развитие норм по энергоэффективности связано с разработкой минимальных требований энергоэффективности для общего энергопотребления зданий, что будет полностью соответствовать Директиве 2010/31/ЕС. Приводятся другие возможные направления повышения энергоэффективности зданий в Украине.

Ключевые слова: теплоизоляция; сопротивление теплопередаче; энергосбережения; энергоэффективность; естественное освещение; инсоляция.

Постановка проблемы. Энергосбережение в строительстве и архитектуре – одно из самых актуальных и важных направлений научных и практических исследований, проводимых специалистами строительной отрасли всех прогрессивных стран мира после энергетического кризиса 1973 года. Особого внимания требуют вопросы энергосбережения в Украине, которые обострились в последние годы на фоне сложной политической ситуации и экономической нестабильности. Одним из возможных путей выхода из сложившейся ситуации является улучшение строительной нормативной базы и её приведение в соответствие с Европейскими и мировыми стандартами. В связи с этим интересно проследить как исторически изменялись требования к энергоэффективности, и как это отражалось на уровне теплоизоляции ограждающих конструкций, насколько новые нормативные требования соответствуют современным требованиям по энергоэффективности зданий, принятым в других странах.

Кроме того, поскольку здание должно обеспечивать комфортные условия жителей не только с точки зрения теплоизоляции, а и по другим параметрам, возникает вопрос согласования требований теплоизоляции с требованиями естественного освещения, инсоляции, защиты от шума.

Анализ исследований и публикаций. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям в период до распада Советского Союза (а также, после распада, – в Российской Федерации) тщательно исследованы в [1].

В статье [2] рассмотрены методические и организационные основы, которые воплощаются в Украине для решения проблемы обеспечения энергоэффективности объектов строительства. Однако эта статья датируется 2013 г. и в ней не отражены последние изменения в нормативной базе. Определенный анализ истории изменения норм по энергоэффективности в

Украине после распада Советского Союза проведен в Отраслевой программе повышения энергоэффективности в строительстве на 2010-2014 годы [3]. Там же есть сравнение норм Украины с действующими на то время нормами других государств.

Однако во всех перечисленных источниках не исследована связь норм по утеплению ограждающих конструкций с другими нормами по строительной физике.

Исторический обзор. После распада СССР в Украине началась формироваться национальная нормативная база в строительстве. Переломным моментом в повышении энергоэффективности зданий стал приказ Минстройархитектуры Украины № 247 от 27.12.1993 г. [4], которым были установлены новые, существенно более высокие нормативные значения сопротивления теплопередаче различных типов ограждающих конструкций по сравнению с теми, которые действовали в СССР [5].

Территория Украины была разделена на 4 температурные зоны и для каждой зоны устанавливались значения нормативного сопротивления теплопередаче в зависимости от вида ограждающей конструкции. Выполнение новых норм гарантировало экономию потребления энергоресурсов при эксплуатации зданий более чем на 30% по сравнению с нормами, которые действовали до этого приказа.

К недостаткам этого нормирования следует отнести то, что нормативное сопротивление зависело от материалов, из которых состояла конструкция. Так, например, в I температурной зоне (г. Киев) для стен с утеплителем из полимерных материалов $R_{0}^{TP} = 2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, а для стен из многосщелевого керамического кирпича $R_{0}^{TP} = 1,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Таким образом два одинаковых по объёмно-планировочному решению дома, но утеплённые разными материалами, могли отличаться по энергоэффективности более чем на 30%! Ещё одним недостатком было то, что новые нормы не касались промышленных зданий.

В 2005 г. на смену СНиП 2.08.01-89 «Жилые здания» [6] были приняты новые национальные нормы ДБН В.2.2-15-2005 [7], которые с изменениями и дополнениями действуют до настоящего времени. В этом документе появился целый раздел, посвященный энергосбережению, который включает 11 пунктов. В основном эти пункты касаются вопросов инженерного обеспечения. Предлагается в многоквартирных жилых домах, а также в зданиях с кондиционированием воздуха при обосновании применять системы теплоснабжения, работающих на возобновляемых источниках энергии. Констатируется также необходимость неуклонного выполнения требований по обеспечению нормативных значений сопротивлений теплопередаче внешними ограждающими конструкциями и минимизации площади окон.

С 1.04.2007 г. в Украине введены нормы по тепловой изоляции ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» [8]. По сравнению с требованиями 1994 г. повышен минимальный уровень теплоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий в среднем на 15-40% для наружных стен, на 20-25% – для покрытий и крыш, на 20% – для окон. Но наиболее важными отличиями этого документа являются:

- принципиально новые требования при проектировании теплозащиты зданий – требования к удельным теплотерям здания в целом;
- введено понятие энергоэффективности зданий и их классификация по показателю энергоэффективности, что позволило на качественно новом уровне проводить комплексную оценку энергетических показателей зданий;
- существенно изменилась методика расчёта влажностного режима ограждающих конструкций – была принята методика, действующая в странах ЕС, которая позволяет проектировщикам визуально оценивать влажностное состояние конструкции (рис. 1);
- снова вернулся в нормы расчёт теплостойкости в зимний период, что связано с широким применением в новом строительстве теплоаккумулирующих конструкций.

В 2008 г. были разработаны и приняты ДБН В.1.2-11-2008 «Основные требования к зданиям и сооружениям. Экономия энергии» [9]. Эти нормы разработаны с учётом положений

основных требований к зданиям и сооружениям Директивы Совета 89/106 / ЕЭС от 21 декабря 1988 по сближению законов, подзаконных актов и административных положений государств-членов ЕС относительно строительных изделий. Они устанавливают основные положения основного требования к изделиям, зданиям и сооружениям, по обеспечению экономии энергии и тепловой изоляции зданий, определенного в «Техническом регламенте строительных изделий, зданий и сооружений» № 1764 от 21.12.2006 г.

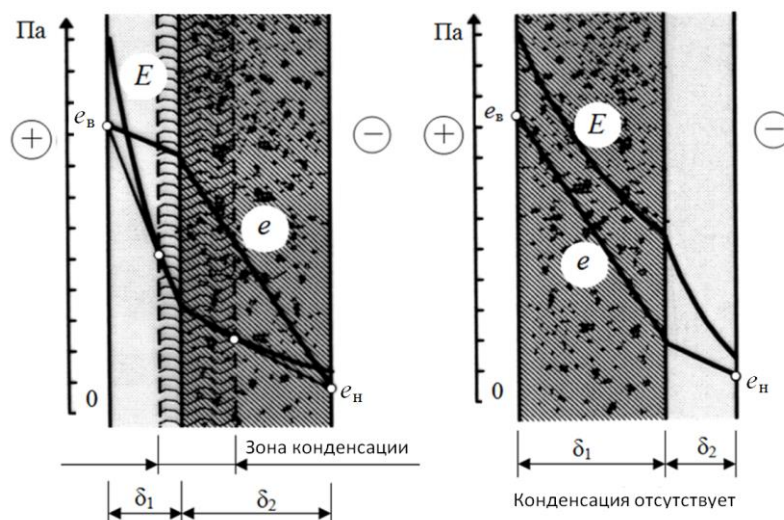


Рисунок 1 - Анализ влажностного состояния ограждающей конструкции

С 1 июля 2013 г. введено в действие Изменение № 1 ДБН В.2.6-31: 2006 [10], которое еще больше повысило требование к теплоизоляционной оболочке и к интегральным характеристикам энергоэффективности зданий. В среднем по Украине сопротивление теплопередаче стен выросло на 15%, перекрытий и крыш – на 25%, окон – на 30%. Столь резкое увеличение нормативной теплоизоляции окон объясняется тем, что именно они являются наиболее уязвимыми местами теплоизоляционной оболочки зданий. В [10] приведено новое температурное зонирование территории Украины, которое унифицирует требования к теплоизоляции ограждающих конструкций.

С 1.10.2006 г. на смену СНиП II-4-79 [11] в Украине вступил в действие ДБН В.2.5-28-2006 «Естественное и искусственное освещение» [12]. В нём не произошло изменений в методике расчета и проектирования естественного освещения, но это было сделано в Изменении № 2 к ним [13]:

- появилось новое светоклиматическое районирования территории Украины;
- учёт светового климата перенесен из нормирования в расчёт;
- при расчёте освещения через светопроёмы верхнего света стало учитываться затенение окружающими зданиями;
- изменена методика расчёта относительной яркости затеняющих зданий;
- уточнено нормирование коэффициента естественного освещения (КЕО) в помещениях, имеющих несколько светопроёмов различной ориентации;
- уточнено нормирования КЕО при наклонных светопроёмах;
- усовершенствован расчёт коэффициента светопропускания светопроёмов;
- вопросы нормирования и расчёта естественного освещения увязаны с инсоляцией и солнцезащитой помещений;
- узаконена возможность применения для естественного освещения специальных отражающих систем и полых световодов.

Эти изменения позволили существенно улучшить учёт особенности светового климата и градостроительной ситуации при расчётах необходимой площади светопрозрачных конструкций.

С 1.11.2011 г. вступил в силу ДСТУ-Н Б В.1-27: 2010 «Строительная климатология» [14], который предоставил проектантам современные климатические показатели, которые до этого не менялись с 1982 г. В этом стандарте важное значение уделено солнечной и тепловой радиации, как при условиях ясного неба, так и при действительной облачности. Также утверждено новое архитектурно-строительное климатическое районирование Украины, которое отражает изменение климата, произошедшее за последние 30 лет. На основе этого районирования сейчас разрабатываются типологические требования ко всем типам зданий, с учётом требований энергосбережения и энергоэффективности.

Основные особенности новых норм. С 1.05.2017 г. начала действовать новая редакция норм по тепловой изоляции зданий – ДБН В.2.6-31: 2016 [15]. Этот документ – имплементация Директивы Европарламента и Совета ЕС 2010/31/ЕС «Об энергетической эффективности зданий» и применение единых со странами ЕС стандартов для расчётов показателей энергоэффективности. Он базируется на разработанный в течение последнего 10-летия комплекс нормативных документов по энергоэффективности, который охватывает более 30 норм, стандартов и руководств по конструированию, испытанию теплотехнических показателей, расчёту и аудиту энергоэффективности зданий (рис. 2). В [15] сделан дальнейший акцент на проектировании здания как единого энергетического комплекса, включающего теплоизоляционную оболочку и систему климатизации здания, которая нормируется ДБН В.2.5-67:2013 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [16] и базируется на свою развитую систему стандартов.

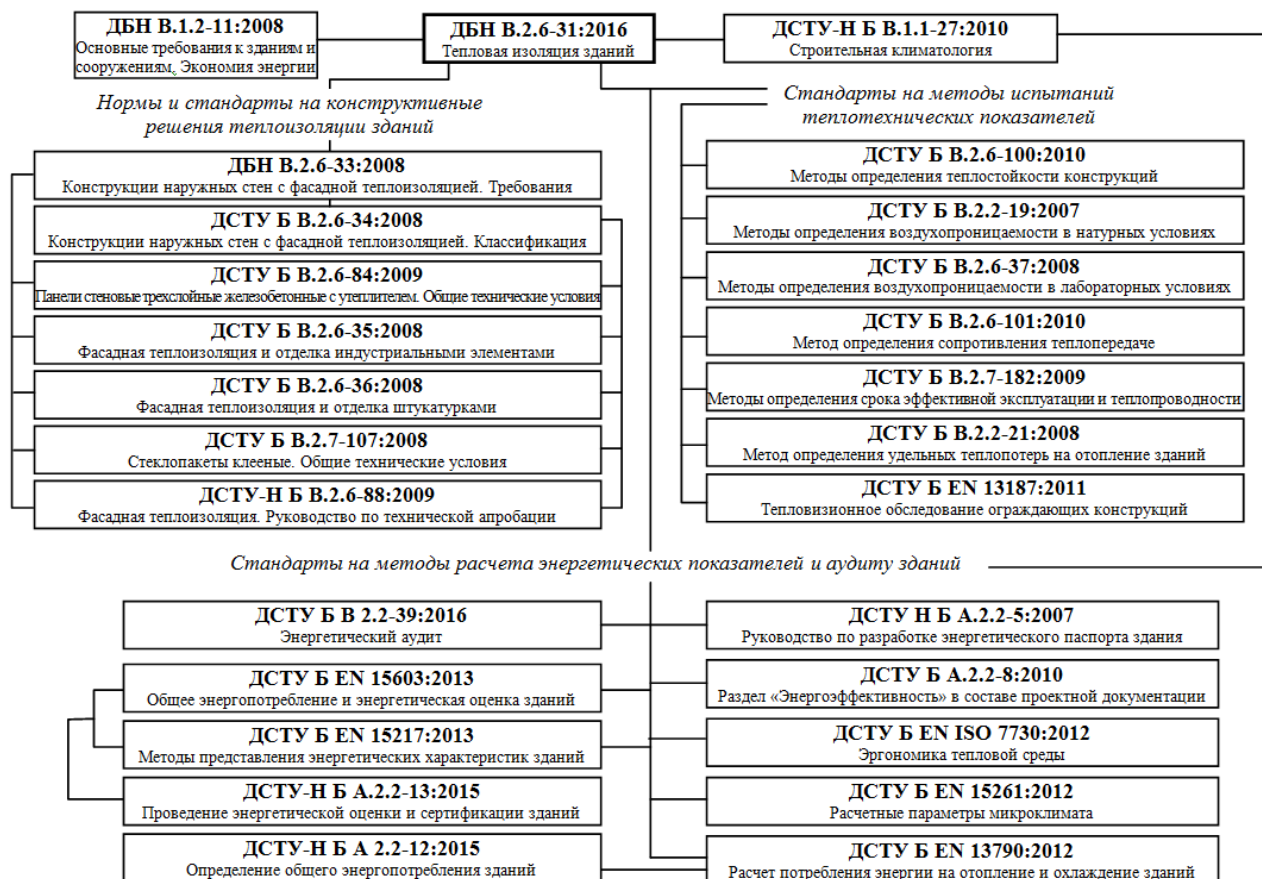


Рисунок 2 - Действующий комплекс нормативных документов по энергоэффективности

Основные отличия новых норм от предыдущих следующие:

- если в [8] нормировалось только удельное энергопотребление на отопление, то в новой редакции норм требуется оценивать показатель энергоэффективности здания по его

удельному энергопотреблению на отопление и охлаждение, метод расчета которого представлен в ДСТУ-Н Б А 2.2-12: 2015 [17]. Взаимосвязь этого стандарта с нормами ЕС показана на рис. 3;

- установлены максимальные нормативные числовые значения удельного энергопотребления для различных по назначению зданий в температурных зонах Украины. Для гражданских зданий высотой до трех этажей и предприятий торговли нормативные показатели представлены в зависимости от коэффициента компактности, поскольку эта группа зданий имеет большой разброс значений высот помещений;

- при реконструкции зданий предполагается использовать повышающий коэффициент (до 1,25) к значениям нормативной величины. Таким образом, к существующим зданиям предъявляются менее жесткие требования, чем к зданиям нового строительства. Это вызвано тем, что в таких зданиях централизованное охлаждение, как правило, отсутствует, а в нормативной величине энергопотребности в качестве слагаемого есть параметр потребности в охлаждении, что снижает показатель класса энергоэффективности;

- уточнены минимально допустимые значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций – в большей степени учтено охлаждение совмещенных покрытий и крыш из-за теплового излучения;

- предложены нормативные значения воздухообмена ($\text{м}^3/\text{ч}$) при разности давлений 50 Па. Показатель воздухообмена связан с затратами энергии на нагрев воздуха при инфильтрации и вентиляции, которые могут быть определены экспериментально. При этом обязательным условием является поддержка санитарно-гигиенических характеристик воздуха;

- предложена новая форма энергетического паспорта, учитывающая энергопотребность и энергопотребление здания с учетом характеристик инженерных систем и способов их эксплуатации. В паспорте присутствует полная информация о характеристиках здания и инженерных систем для существующего здания. На основании этих данных будет выдаваться сертификат энергопотребления;

- развиты требования по применению солнцезащитных устройств светопрозрачных ограждений:

«При проектировании необходимо предусматривать на светопрозрачных конструкциях, ориентированных на юго-западный и западный сектора горизонта в пределах $(200-290)^\circ$, использование солнцезащитных устройств:

- при обычном проценте остекления (менее 18% для жилых домов, менее 25% – для нежилых зданий) в I, III и V архитектурно-строительных климатических районах – внешних или межстекольных солнцезащитных устройств; во II и IV районе – внешних солнцезащитных устройств;

- при повышенном проценте остекления внешние солнцезащитные устройства необходимо предусматривать во всех архитектурно-строительных климатических зонах;

- в одноэтажных домах солнцезащиту разрешается обеспечивать средствами озеленения.

В помещениях зданий и сооружений, в которых по технологическим условиям не допускается инсоляция, а также помещения с охлаждением необходимо обустраивать солнцезащитными устройствами независимо от ориентации (за исключением помещений, ориентированных на север).

Геометрические параметры солнцезащитных устройств необходимо рассчитывать с помощью солнечных карт».

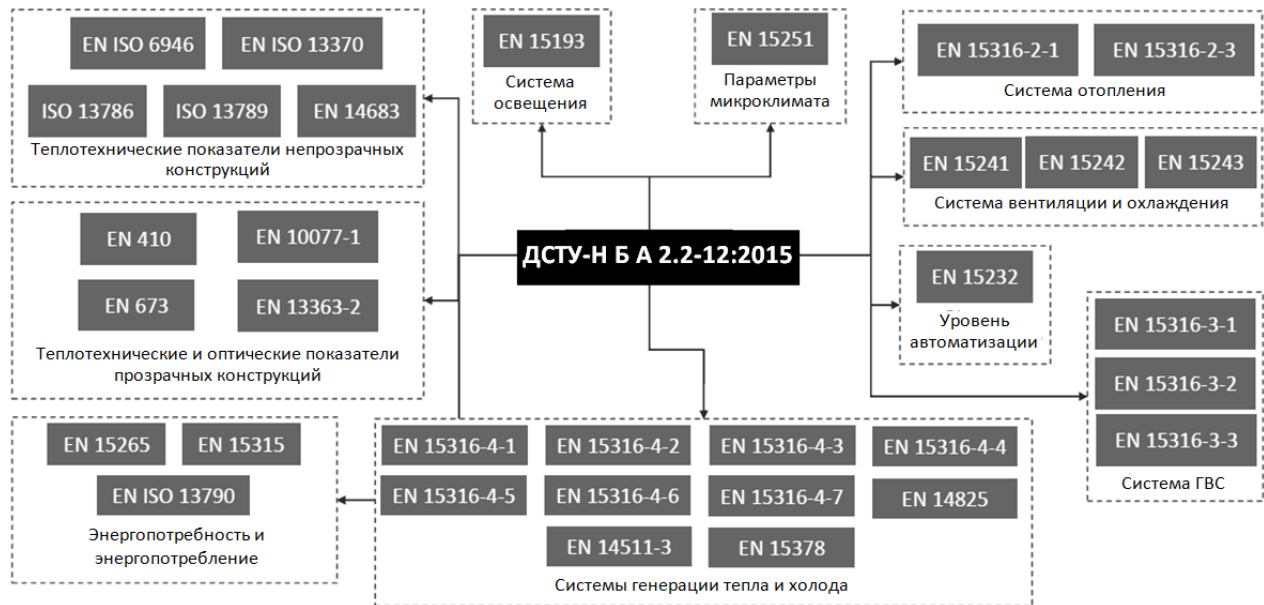


Рисунок 3 – Схема взаимосвязи ДСТУ-Н Б А 2.2-12: 2015 с международными стандартами

Важным этапом внедрения [15] в проектную практику будет принятие в качестве обязательного единого для всех проектов программного обеспечения расчёта энергоэффективности зданий, которое разработано совместно со специалистами ЕС, поскольку сложность алгоритмов расчёта по [17] не позволяет это сделать без применения компьютерных технологий.

Разработанные нормы устанавливают минимальные требования энергоэффективности по спросу на энергию для отопления и охлаждения.

Дальнейшее развитие норм по энергоэффективности связано с разработкой минимальных требований энергоэффективности для общего энергопотребления зданий, что будет полностью соответствовать Директиве 2010/31/ЕС. Предполагается это сделать в течение ближайших 2-х лет.

Следующие возможные направления повышения энергоэффективности:

- внедрение обязательной принудительной приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла в жилых домах, поскольку потери энергии на нагрев свежего воздуха при однократной замене воздуха в час (согласно санитарным нормам) в многоквартирных зданиях достигает 40-45%;
- принятие новой редакции ДБН В.2.5-28 «Естественное и искусственное освещение», которая уже разработана, и разработка соответствующего комплекса стандартов, поскольку, во-первых, оптимизация площади светопрозрачных ограждений способна существенно уменьшить теплопотери; во-вторых, применение современных систем искусственного освещения уменьшит потери электрической энергии;
- разработка ДСТУ-Н «Проектирование и расчёт солнцезащитных светопрозрачных ограждений зданий», поскольку затраты энергии на поддержание комфортной температуры в период перегрева на 70-80% связаны с поступлением тепла через окна;
- разработка нормативных документов по проектированию пассивных домов, а также домов с нулевым и положительным балансом энергии.

Выводы. В Украине после обретения независимости начали уделять значительное внимание вопросам энергоэффективности зданий и энергосбережению.

Современные национальные нормы по теплоизоляции зданий и другие нормы, связанных с энергоэффективностью, в целом, соответствуют требованиям нормативной строительной базы ЕС, однако есть насущные задачи, которые еще нужно решать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков А. С. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям / А. С. Горшков, В. И. Ливчак // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 3 (30). – С. 7-37.
2. Барзилович Д. В. Розвиток системи нормативних документів України із забезпечення енергозбереження та енергоефективності будівель. / Д. В. Барзилович, Г. Г. Фаренюк // Будівельні конструкції. – К. : ДП НДІБК, 2013. – Вип. 77. – С. 3-9.
3. Колесник Є. Концептуальні положення Галузевої програми підвищення енергоефективності у будівництві на 2010-2014 роки / Євген Колесник [Електронний ресурс]. – Режим доступа: Часть 1 – <http://www.patriot-nrg.ua/ukr/savings/view/56>; Часть 2 – <http://www.patriot-nrg.ua/ukr/savings/view/57>; Часть 3 – <http://www.patriot-nrg.ua/ukr/savings/view/58> – название с экрана.
4. Сергейчук О. В. Архітектурно-будівельна фізика. Теплотехніка огорожуючих конструкцій будинків : навч. посібник / О. В. Сергейчук. – К. : Такі справи, 1999. – 156 с.
5. Строительная теплотехника : СНиП II-3-79*. – М. : Стройиздат, 1982. – 40 с. – (Строительные нормы СССР).
6. Жилые здания : СНиП 2.08.01-89. – М. : Стройиздат, 1989. – 20 с. – (Строительные нормы СССР).
7. Жилые здания. Основные положения : ДБН В.2.2.-15-2005 / Госстрой Украины. – [Введены в действие с 2006-01-01] – К. : Укрархбудінформ, 2005. – 50 с. – (Государственные строительные нормы Украины).
8. Тепловая изоляция зданий : ДБН В.2.6-31: 2006 / Минстрой Украины. – [Введены в действие с 2007-04-01]. – К. : Укрархбудінформ, 2006. – 64 с. – (Государственные строительные нормы Украины).
9. Основные требования к зданиям и сооружениям. Экономия энергии ДБН В.1.2-11-2008 / Минрегионстрой Украины. – [Введены в действие с 2008-10-01]. – К. : Минрегионстрой Украины, 2008. – 12 с. – (Государственные строительные нормы Украины).
10. Тепловая изоляция зданий: Изменение № 1 ДБН В.2.6-31: 2006 / Минрегион Украины. – [Введено в действие с 2013-07-01]. – К. : Минрегион Украины, 2013. – 11 с. – (Государственные строительные нормы Украины).
11. Естественное и искусственное освещение : СНиП II-4-79. – М. : Стройиздат, 1980. – 51 с. – (Строительные нормы СССР).
12. Естественное и искусственное освещение : ДБН В.2.5-28-2006 / Минстрой Украины. – [Введены в действие с 2006-10-01]. – К. : Укрархбудінформ, 2006. – 76 с. – (Государственные строительные нормы Украины).
13. Естественное и искусственное освещение : Изменение № 2 ДБН В.2.5-28-2006 / Минрегион Украины. – [Введено в действие с 2012-09-01]. – К. : Минрегион Украины, 2012. – 32 с. – (Государственные строительные нормы Украины).
14. Строительная климатология: ДСТУ-Н Б В.1.1 - 27: 2010 / Минрегионстрой Украины. – [Введен в действие с 2011-01-11]. – К. : Минрегионстрой Украины, 2011. – 123 с. – (Национальный стандарт Украины).
15. Теплоизоляция зданий : ДБН В.2-31: 2016 / Минрегион Украины. – [Введены в действие с 2017-05-01]. – К. : Минрегион Украины, 2017. – 33 с. – (Государственные строительные нормы Украины).
16. Отопление, вентиляция и кондиционирование : ДБН В.2.5-67: 2013 / Минрегион Украины. – [Введены в действие с 2014-01-01]. – К. : Минрегион Украины, 2013. – 141 с. – (Государственные строительные нормы Украины).
17. Метод расчета энергопотребления при отоплении, охлаждении, вентиляции освещении и горячем водоснабжении: ДСТУ-Н-Б А.2.2-12: 2015. / Минрегион Украины – [Введен в действие с 2016-01-01]. – К. : Минрегион Украины, 2015. – 139 с. – (Национальный стандарт Украины).

Сергейчук Олег Васильевич

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры архитектурных конструкций

E-mail: ovsergeich@mail.ru

O.V. SERGEYCHUK

NEW GENERATION OF BUILDING STANDARDS ON ENERGY EFFICIENCY IN UKRAINE

The new edition of DBN B.2.6-31 "Thermal insulation of buildings" was implemented in Ukraine on May 1, 2017. This document is the implementation of the Directive of the European Parliament and the Council of EU 2010/3/EC "On energy efficiency of buildings". It is based on a set of normative documents on energy efficiency that were developed over the past decade; they cover about 30 norms, standards and guidelines for the design, testing of heat engineering indicators, calculation, and audit of energy-efficient buildings. We consider a brief history of the development of national building codes after the Declaration of independence of Ukraine. We analyze norms on climatology, heat engineering, illumination, and insulation, as well as their interrelations with the standards for designing housing. It is shown the gradual tightening of requirements for thermal insulation of buildings and improvement of methods

for optimizing the light environment of premises. We give main differences between the new version of DBN V.2.6-31 and the previous version. The main attention is paid to the design of a building as a single energy complex, including a heat insulation shell and climate system. We give a scheme of coordinating international standards with the national requirements to design and calculation of the energy performance of buildings. We accentuate the necessity to design of sun protection devices in order to optimize the insolation mode of the premises for both their passive heating in winter and protection against overheating in summer. The developed norms establish minimum energy efficiency requirements on energy demand for heating and cooling. The further development of energy efficiency standards is associated with the development of minimum energy efficiency requirements for the overall energy consumption of buildings, which will fully comply with Directive 2010/31/EC. We also give other possible ways to increase the energy efficiency of buildings in Ukraine.

Key words: thermal insulation; thermal resistance of building envelope elements; energy saving; energy efficiency; daylight; insolation.

REFERENCES

1. Gorshkov A. S. Istoriya, evolyutsiya i razvitiye normativnykh trebovaniy k ogorozhdayushchim konstruktsiyam / A. S. Gorshkov, V. I. Livchak // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. – 2015. – № 3 (30). – S. 7-37.
2. Barzilovich D. V. Rozvitok sistemi normativnykh dokumentov Ukraini iz zabezpechennya energozberezhennya ta energoefektivnosti budivél'. / D. V. Barzilovich, G. G. Farenjuk // Budivél'ni konstruktsii. – K. : DP NDIBK, 2013. – Vyp. 77. – S. 3-9.
3. Kolesnik E. Kontseptual'no polozhennoye Galuzevoi programi pidvishchennya energoefektivnosti u budivnitstvi na 2010-2014 roki / Evgen Kolesnik [Yelektronniy resurs]. – Rezhim dostupa: Chast' 1 – <http://www.patriot-nrg.ua/ukr/savings/view/56>; Chast' 2 – <http://www.patriot-nrg.ua/ukr/savings/view/57>; Chast' 3 – <http://www.patriot-nrg.ua/ukr/savings/view/58> – nazvaniye s ekrana.
4. Sergeychuk O. V. Arkhitekturno-budivél'na fizika. Teplotekhnika ogorodzhuyuchikh konstruktsiy budinkiv: navch. posibnik / O. V. Sergeychuk. – K. : Takí spravi, 1999. – 156 s.
5. Stroitel'naya teplotekhnika: SNiP ÍÍ-3-79 *. – M. : Stroyizdat, 1982. – 40 s. – (Stroitel'nyye normy SSSR).
6. Zhilyye zdaniya: SNiP 2.08.01-89. – M. : Stroyizdat, 1989. – 20 s. – (Stroitel'nyye normy SSSR).
7. Zhilyye zdaniya. Osnovnyye polozheniya: DBN V.2.2.-15-2005 / Gosstroy Ukrainy. – [Vvedeny v deystvi s 2006-01-01] – K. : Ukrarkhbudinform, 2005. – 50 s. – (Gosudarstvennyye stroitel'nyye normy Ukrainy).
8. Teplovaya izolyatsiya zdaniy: DBN V.2.6-31: 2006 / Ministroy Ukrainy. – [Vvedeny v deystvi s 2007-04-01]. – K. : Ukrarkhbudinform, 2006. – 64 s. – (Gosudarstvennyye stroitel'nyye normy Ukrainy).
9. Osnovnyye trebovaniya k zdaniyam i sooruzheniyam. Ekonomiya energii DBN V.1.2-11-2008 / Minregionstroy Ukrainy. – [Vvedeny v deystvi s 2008-10-01]. – K. : Minregionstroy Ukrainy, 2008. – 12 s. – (Gosudarstvennyye stroitel'nyye normy Ukrainy).
10. Teplovaya izolyatsiya zdaniy: Izmeneniye № 1 DBN V.2.6-31: 2006 / Minregion Ukrainy. – [Vvedeno v deystviye s 2013-07-01]. – K. : Minregion Ukrainy, 2013. – 11 s. – (Gosudarstvennyye stroitel'nyye normy Ukrainy).
11. Estestvennoye i iskusstvennoye osveshcheniye: SNiP ÍÍ-4-79. – M. : Stroyizdat, 1980. – 51 s. – (Stroitel'naya normy SSSR).
12. Estestvennoye i iskusstvennoye osveshcheniye: DBN V.2.5-28-2006 / Ministroy Ukrainy. – [Vvedeny v deystviye s 2006-10-01]. – K. : Ukrarkhbudinform, 2006. – 76 s. – (Gosudarstvennyye stroitel'nyye normy Ukrainy).
13. Estestvennoye i iskusstvennoye osveshcheniye: Izmeneniye № 2 DBN V.2.5-28-2006 / Minregion Ukrainy. – [Vvedeno v deystviye s 2012-09-01]. – K. : Minregion Ukrainy, 2012. – 32 s. – (Gosudarstvennyye stroitel'nyye normy Ukrainy).
14. Stroitel'naya klimatologiya: DSTU-N B V.1.1 - 27: 2010 / Minregionstroy Ukrainy. – [Vveden v deystviye s 2011-01-11]. – K. : Minregionstroy Ukrainy, 2011. – 123 s. – (Natsional'nyy standart Ukrainy).
15. Teploizolyatsiya zdaniy: DBN V.2-31: 2016 / Minregion Ukrainy. – [Vvedeny v deystvi s 2017-05-01]. – K. : Minregion Ukrainy, 2017. – 33 s. – (Gosudarstvennyye stroitel'nyye normy Ukrainy).
16. Otopleniye, ventilyatsiya i konditsionirovaniye: DBN V.2.5-67: 2013 / Minregion Ukrainy. – [Vvedeny v deystvi s 2014-01-01]. – K. : Minregion Ukrainy, 2013. – 141 s. – (Gosudarstvennyye stroitel'nyye normy Ukrainy).
17. Metod rascheta energopotrebleniya pri otoplenii, okhlazhdenii, ventilyatsii, osveshchenii i goryachem vodosnabzhenii: DSTU-N-B A.2.2-12: 2015 / Minregion Ukrainy – [Vveden v deystviye s 2016-01-01]. – K. : Minregion Ukrainy, 2015. – 139 s. – (Natsional'nyy standart Ukrainy).

O.V. Sergeychuk

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Architectural Constructions

E-mail: ovsergeich@mail.ru

СОЛОМЕНЦЕВ А.Б., РЕВЯКИН С.Л., ОНОПРИЙЧУК Д.А.

РЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ДОРОЖНОГО БИТУМА К ПОЛИМЕРНЫМ ДОБАВКАМ И ДОПУСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Получены значения динамической вязкости дорожного битума с полимерными добавками в температурном интервале 70-180 °С и расходе добавок 6-8 % от массы битума. Дано определение реологической чувствительности и предложены формулы для расчета чувствительности битума с добавками к снижению температуры и увеличению расхода добавок. Выбраны температурные интервалы допустимых значений динамической вязкости дорожного битума на этапах структурообразования асфальтобетона. Определена реологическая чувствительность битума с добавками на этапах приготовления и уплотнения асфальтобетонной смеси. Разработан метод определения и определены допустимые технологические температуры битума с добавками и соответственно асфальтобетонных смесей на этапах структурообразования асфальтобетона.

Ключевые слова: полимерные добавки, динамическая вязкость дорожного битума с добавками, реологическая чувствительность битума с добавками, структурообразование асфальтобетона, допустимые технологические температуры битума с добавками и асфальтобетонных смесей.

Для получения однородной и соответствующей требованиям асфальтобетонной смеси, а также для уплотнения смеси и получения асфальтобетона с требуемыми структурой и свойствами необходимо создать определенные температурные условия. Эти условия зависят от вязкости битумного вяжущего, его расхода, степени модификации и наличия добавок, гранулометрического состава минеральной части и структуры асфальтобетонной смеси.

Введение полимерных добавок в дорожный битум приводит к увеличению его вязкости, что будет изменять технологические температурные диапазоны приготовления и уплотнения асфальтобетонных смесей, т.е. на этапах структурообразования асфальтобетона. Условимся под реологической чувствительностью битумного вяжущего к полимерным добавкам понимать степень увеличения вязкости дорожного битума при снижении температуры или увеличении расхода добавок. На основе анализа требований и опыта приготовления и уплотнения горячих асфальтобетонных смесей в разных странах (таблица 1) для оценки реологической чувствительности вязкого дорожного битума БНД 60/90 к полимерным добавкам были выбраны следующие температурные интервалы: приготовление 150-180 °С, начало уплотнения 120-140 °С, окончание уплотнения 70-80 °С.

Таблица 1 – Температура горячих асфальтобетонных смесей на этапах структурообразования асфальтобетона

№ п/п	Название этапа	Страна	Температура асфальтовой смеси, °С; источники информации	Принятый для сравнения температурный интервал, °С
1	2	3	4	5
1	Приготовление асфальтобетонных смесей на вязких дорожных битумах	Россия Германия	160-160 [1] 190-160 [2]	150-180
2	Начало уплотнения	Россия Россия Германия США Швеция	130-160 [1] 90-140 [5] 100 [2] 125-150 [3] 130-160 [4]	120-140
3	Окончание уплотнения	США Швеция Германия Россия	80 [3] 60 [4] 100 [2] 60-105 [5]	70-80

В принятых температурных интервалах сравнили значения динамической вязкости дорожного битума БНД 60/90, полученных авторами, и европейского битума сортов 50/70, 70/100 [2] (таблица 2), а также из других источников (таблица 3) и приняли следующие интервалы допустимых значений динамической вязкости битума БНД 60/90 для различных этапов: приготовление – менее 0,3 Па·с, начало уплотнения – 0,3-1,5 Па·с, окончание уплотнения – 20-120 Па·с. Эти интервалы допустимых значений далее использовались для оценки температурных условий при получении и уплотнении горячих асфальтобетонных смесей на битуме с полимерными добавками.

Таблица 2 – Динамическая вязкость дорожного битума БНД 60/90 и сортов 50/70, 70/100

№ п/п	Время испытаний битума БНД 60/90 сорт битума	Динамическая вязкость, Па·с при температурах, °С												
		70	80	90	100	110	120	125	130	140	150	160	175	180
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Май 1981 г. [6]	60	22	8,3	2,8	1,47	0,85	-	0,5	0,3	-	-	-	-
2	Апрель 2013 г.	117	33,8	12,2	5,01	2,32	1,16	-	0,65	0,38	0,24	0,16	-	-
3	Декабрь 2014 г.	61,5	21,4	7,6	3,3	1,6	0,87	-	0,5	0,3	0,2	0,13	-	-
4	Ноябрь 2015 г.	85,2	27,33	10,22	4,29	2,03	1,05	-	0,59	0,35	0,22	0,15	-	-
5	Декабрь 2016 г.	61,5	21,42	7,63	3,30	1,62	0,91	-	0,54	0,3	0,2	0,11	0,081	0,059
6	Февраль 2017 г.	52,8	17,3	6,62	2,9	1,4	0,79	-	0,43	0,26	0,17	0,11	0,079	0,059
7	Дорожный битум 50/70 [2]				5,85			1,06			0,29		0,1	
8	Дорожный битум 70/100 [2]				3,9			0,77			0,22		0,08	

Примечание: динамическая вязкость дорожного битума сортов 50/70 и 70/100 получена пересчетом кинематической вязкости [2] по плотности при соответствующей температуре.

Таблица 3 – Допустимая динамическая вязкость дорожного битума на этапах структурообразования горячего асфальтобетона

№ п / п	Этапы и температурные диапазоны, °С	Значения динамической вязкости из различных источников информации, Па·с				
		Королев И.В. [7,8]	Хучентойтер Ю. Вернер Т. [2] Германия	Бахия Х., США [9]	Соломенцев А.Б. и др. табл. 2	Принятое для сравнения
1	2	3	4	5	6	7
1	Приготовление, 150-180	< 0,5 [7] 0,2-0,7 [8]	0,08-0,29	< 3,0 при T=135°C	< 0,20	< 0,3
2	Начало уплотнения, 120-140	0,5-10	0,77-1,06	-	0,2-1,2	0,3-1,5
3	Окончание уплотнения, 70-80	15-25	-	-	20-120	20-120

При оценке реологической чувствительности и допустимых технологических температур использовались добавки термоэластопластов, термопластов и дробленой резины. В таблице 4 приведены сведения об используемых полимерных добавках. Термоэластопласты на сти-

рольной основе производства южно-корейской компании Kumho Petrochemical линейной молекулярной структуры, синтезированные мономерами бутадиеном и стиролом в органическом растворителе отличаются структурой макромолекул: (S-B)×2 для марки KTR 101 и (S-B-S) для марки KTR 103; а также прочностью при растяжении (310 и 260 кг/см² соответственно), вязкостью раствора в толуоле при 25°С (4,5 и 2,0 сП соответственно) и удлинением (800 и 740 % соответственно). Итальянская термопластичная добавка Superplast состоит из смеси переработанных из вторичного сырья полимеров этилена. Гранулированная российская добавка РТЭП представляет собой многокомпонентную композицию на основе полиолефинового носителя, комплексный модификатор КМА КОЛТЕК, представляет собой композицию из девулканизированного (регенерированного) неполярного каучука в виде резиновой крошки, полимеров, химических агентов, гелеобразующего, сшивающего и адгезионного компонентов, а добавка УНИРЕМ-002 содержит активный резиновый порошок, гелеобразующий адгезионный агент, ускоритель набухания резины в битуме и сшивающий агент.

Таблица 4 – Сведения об используемых полимерных добавках

№ п/п	Название добавки, вид полимера или полимерного материала	Название основных составляющих веществ и химических соединений	Физическое состояние и товарная форма	Температура, °С/время, распределения добавки в битуме, минуты
1	2	3	4	5
1	KTR 101, термоэластопласт	Сополимеры (стирол-бутадиен) ×2 линейной структуры	Пористая крошка белого цвета	200/40
2	KTR 103, термоэластопласт	Сополимеры (стирол-бутадиен-стирол) линейной структуры	Пористая крошка белого цвета	200/40
3	Суперпласт, термопласт	Смесь переработанных из вторичного сырья полимеров этилена	Цилиндрические гранулы серого цвета	190/50
4	РТЭП, термопласт	Многокомпонентная композиция на основе полиолефинового носителя	Гранулы черного цвета	200/60
5	КМА КОЛТЕК, дробленая резина	Дробленая резина с добавками	Порошок черного цвета	190/30
6	УНИРЕМ-002, дробленая резина	Дробленая резина с добавками	Гранулы черного цвета	190/30

Добавки вводились в битум нефтяной дорожный вязкий производства Московского НПЗ марки БНД 60/90 по ГОСТ 22245-90. Расход полимерных добавок в битуме составлял 4,6 и 8 % от массы битума. Добавки KTR 101 и 103 расплавлялись в битуме при 200°С в течение 40 минут до образования однородной массы без сгустков, комков и крупинок, добавка Суперпласт расплавлялась при 190°С в течение 50 минут, РТЭП при 200°С в течение 60 минут с образованием желеобразной подвижной массы. Добавки КМА КОЛТЕК и УНИРЕМ-002 распределялись в битуме при 190°С в течение 30 минут. Далее определялась динамическая вязкость битума с добавками при различных температурах и расходах добавок с помощью ротационного вискозиметра Brookfield RVDV-II-PRO [10].

Реологическую чувствительность дорожного битума БНД 60/90 к изменению температуры и расхода добавок можно оценить по относительному увеличению динамической вязкости битума с добавками в сравнении с битумом без добавок при выбранных технологических температурах асфальтобетонных смесей (таблица 1): приготовления 180-150 °С, начала уплотнения 140-120 °С и окончания уплотнения 80-70 °С. Реологическую чувствительность битума к увеличению расхода полимерных добавок определяли по формуле:

$$\chi_d = \frac{\eta_d}{\eta_0}, \quad (1)$$

где η_d – динамическая вязкость битума с добавкой при нижней допустимой температуре этапа приготовления или уплотнения смеси, Па·с;

η_6 – динамическая вязкость битума при нижней допустимой температуре этапа приготовления или уплотнения смеси, Па·с.

Реологическую чувствительность битума к уменьшению температуры определяли по формуле:

$$\chi_t = \frac{\eta_H}{\eta_B}, \quad (2)$$

где η_H – динамическая вязкость битума или битума с добавкой при нижней допустимой температуре этапа приготовления или уплотнения смеси, Па·с;

η_B – динамическая вязкость битума или битума с добавкой при верхней допустимой температуре этапа приготовления или уплотнения смеси, Па·с.

По значениям динамической вязкости битума с полимерными добавками при температуре 70-180 °С и расходе добавок 4,6 и 8% от массы битума (таблица 5) получили значения реологической чувствительности битума к увеличению расхода полимерных добавок (χ_d), приведенные в таблице 6 и на диаграмме рисунка 1, а также значения реологической чувствительности битума к уменьшению температуры χ_t , приведенные в таблице 7 и на диаграмме рисунка 2. Как видно из таблицы 6, наибольшую чувствительность к увеличению расхода добавок при 150°С проявляет битум с термоэластопластом KTR 103, увеличивая его вязкость при расходе 8% в 14,3 раза, Суперпласт увеличивает вязкость при расходе 8% в 9,7 раза, KTR 101 – в 6,3 раза, а добавка РТЭП и УНИРЕМ-002 в 3 раза, КМА КОЛТЕК – в 2,8 раза. При 120 °С наибольшую чувствительность к увеличению расхода добавок также проявляет битум с термоэластопластом KTR 103, увеличивая его вязкость при расходе 8% в 21,1 раза, Суперпласт увеличивает вязкость при расходе 8% в 12,4 раза, РТЭП – в 3,7 раза, КМА КОЛТЕК – в 3,3, УНИРЕМ-002 – в 3,1 раза. При 70 °С наибольшую чувствительность к увеличению расхода добавок проявляет термопласт Суперпласт, увеличивая вязкость битума в 52,0 раза, KTR-103 увеличивает вязкость в 21.9 раза, KTR-101 – в 12,7 раза, РТЭП – в 6,1 раза, УНИРЕМ-002 – в 4,4 раза, КМА КОЛТЕК – в 4,1 раза

Таблица 5 – Значения динамической вязкости дорожного битума БНД 60/90 с полимерными добавками

№ п/п	Название добавки	Расход добавки в битуме, % от массы битума	Значения динамической вязкости. Па с. при температуре, °С											
			70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
1	2	3	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Без добав-ки	-	61,50	21,42	7,63	3,30	1,62	0,91	0,54	0,30	0,20	0,11	0,081	0,058
2	KTR101	4	545	155	55,50	19,70	8,54	5,33	2,97	1,70	1,00	0,56	0,53	0,35
3		6	662	170	66,40	21,90	10,90	5,63	3,21	2,00	1,05	0,69	0,47	0,34
4		8	780	186	77,80	23,70	11,80	5,80	3,55	2,60	1,25	0,98	0,89	0,60
5	KTR103	4	183	77,85	22,00	20,30	8,13	3,47	1,75	1,00	0,58	0,40	0,25	0,19
6		6	709	520	381	108	23,70	9,28	4,34	2,30	1,17	0,67	0,53	0,37
7		8	1347	1037	760	195	59,30	19,20	9,03	4,80	2,85	1,92	1,12	0,78
8	РТЭП	4	151	47,00	18,90	9,50	4,40	2,20	1,20	0,70	0,42	0,27	0,18	0,13
9		6	241	75,20	28,80	15,40	5,50	2,72	1,46	0,90	0,54	0,36	0,27	0,20
10		8	377	117,50	47,30	22,90	6,70	3,40	1,80	1,10	0,60	0,50	0,40	0,30
11	Superplast	4	205	66,30	22,50	9,30	4,80	3,20	1,83	0,90	0,62	0,41	0,39	0,20
12		6	1700	436,50	148	55,50	19,30	6,48	3,13	2,20	0,94	0,45	0,29	0,21
13		8	3200	803	271	101	48,60	11,30	5,48	3,20	1,94	1,18	0,83	0,66
14	КМА КОЛТЕК	4	127	39,25	14,4	6,07	2,95	1,23	0,77	0,50	0,29	0,21	0,14	0,10
15		6	188	58,13	21,40	8,99	4,37	2,09	1,14	0,70	0,42	0,28	0,19	0,14
16		8	250	77,28	28,40	12,00	5,81	3,02	1,56	0,90	0,56	0,44	0,23	0,19
17	УНИРЕМ-002	4	90,30	30,57	14,25	6,90	3,74	2,15	1,31	0,53	0,34	0,23	0,16	0,12
18		6	181	55,5	21,23	9,33	4,58	2,40	1,37	0,73	0,47	0,32	0,15	0,14
19		8	273	81,08	28,20	11,76	5,41	2,81	1,54	0,92	0,59	0,40	0,28	0,19

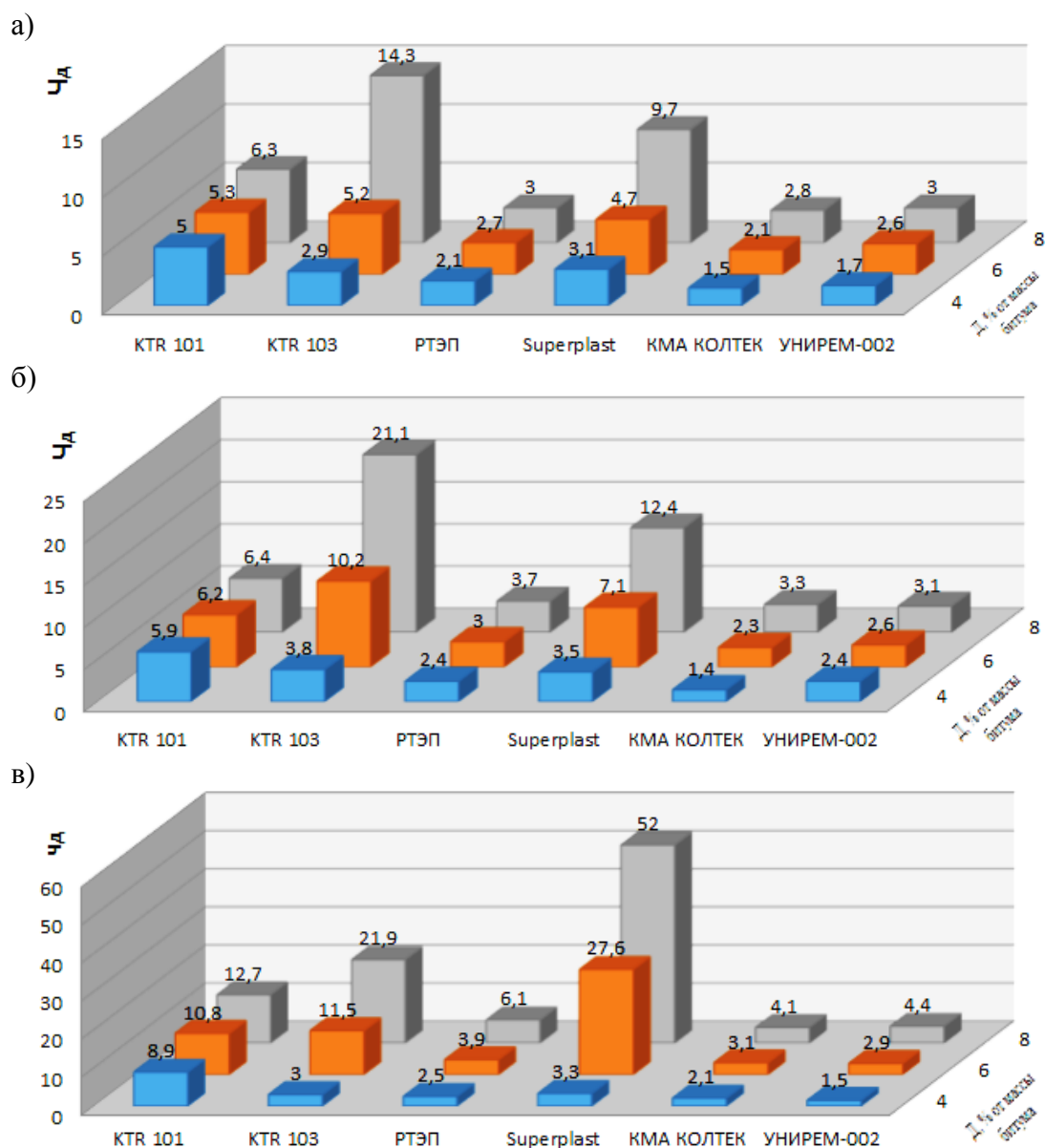


Рисунок 1 – Диаграммы чувствительности битума к увеличению расхода полимерных добавок $\text{Ч}_\text{д}$ при нижних допустимых технологических температурах на этапах структурообразования асфальтобетона: а) 150 °C; б) 120 °C; в) 70 °C

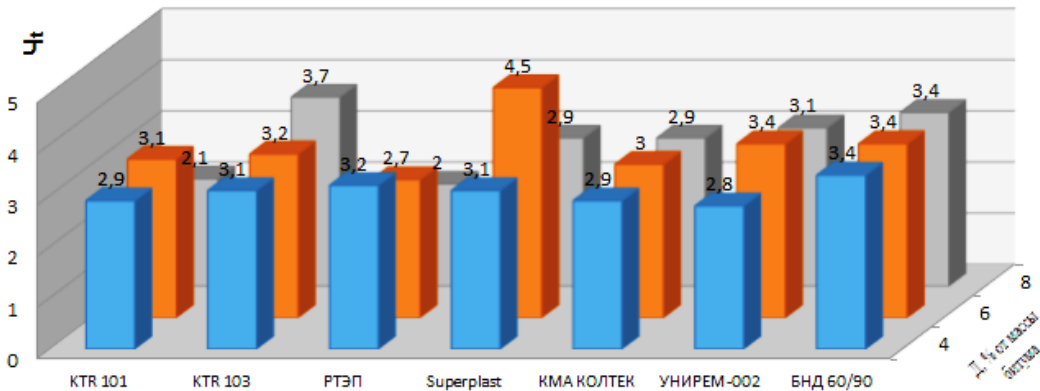
Таблица 6 – Реологическая чувствительность битума к увеличению расхода полимерных добавок $\text{Ч}_\text{д}$

№ п / п	Название добавки	Реологическая чувствительность битума к увеличению расхода полимерных добавок при температуре °C и расходе добавки % от массы битума								
		150			120			70		
		4	6	8	4	6	8	4	6	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	KTR101	5,0	5,3	6,3	5,9	6,2	6,4	8,9	10,8	12,7
2	KTR103	2,9	5,2	14,3	3,8	10,2	21,1	3,0	11,5	21,9
3	РТЭП	2,1	2,7	3,0	2,4	3,0	3,7	2,5	3,9	6,1
4	Суперпаст	3,1	4,7	9,7	3,5	7,1	12,4	3,3	27,6	52,0
5	КМА КОЛТЕК	1,5	2,1	2,8	1,4	2,3	3,3	2,1	3,1	4,1
6	УНИРЕМ-002	1,7	2,6	3,0	2,4	2,6	3,1	1,5	2,9	4,4

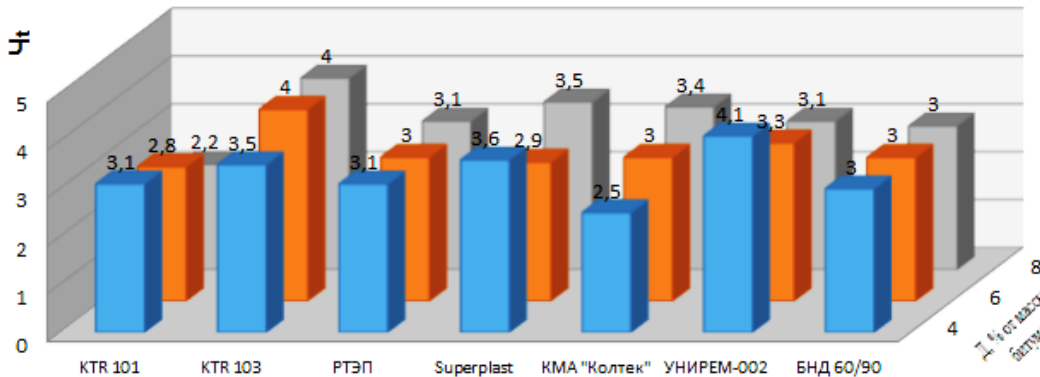
Как видно из таблице 7 и рисунка 2, реологическая чувствительность к уменьшению температуры на этапе приготовления смеси находится в пределах увеличения вязкости от 2,0

раз у битума с добавкой РТЭП при ее расходе 8% до 4,5 раз у битума с добавкой Суперпласт при ее расходе 6% от массы битума. На этапе начала уплотнения смеси реологическая чувствительность к уменьшению температуры находится в пределах увеличения вязкости от 2,2 раз у битума с добавкой КТР-101 при ее расходе 8% до 4,0-4,1 раза у битума с добавкой КТР-103 при ее расходе 6 и 8% и у битума с добавкой УНИРЕМ-002 при ее расходе 4% от массы битума. На этапе окончания уплотнения смеси чувствительность к уменьшению температуры находится в пределах увеличения вязкости от 1,3 раза у битума с добавкой КТР-103 при ее расходе 8% до 4,0-4,2 раза у битума с добавкой Суперпласт при ее расходе 8% и у битума с добавкой КТР-101 при ее расходе 8% от массы битума.

а)



б)



в)

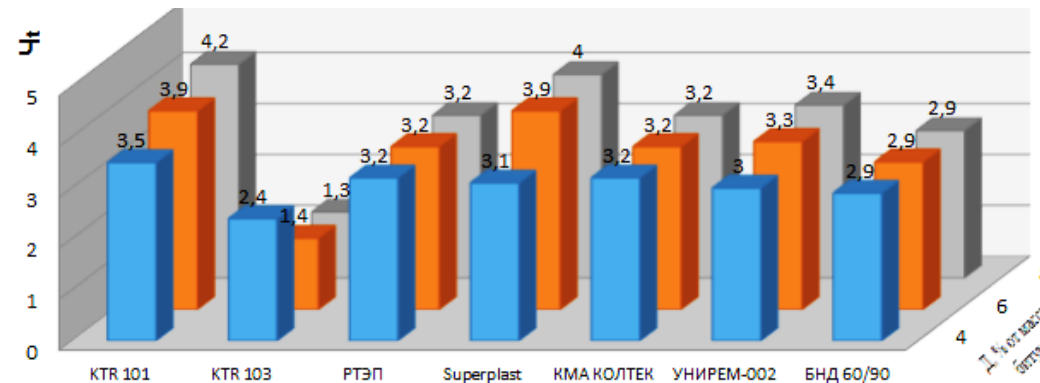


Рисунок 2 – Диаграммы чувствительности битума с полимерными добавками к уменьшению температуры на этапах структурообразования асфальтобетона: а) на этапе приготовления; б) на этапе начала уплотнения; в) на этапе окончания уплотнения

Таблица 7 – Реологическая чувствительность битума с полимерными добавками к уменьшению температуры (T_1)

№ п / п	Название добавки	Реологическая чувствительность битума с полимерными добавками к уменьшению температуры на этапах приготовления и уплотнения при расходе добавок, % от массы битума								
		приготовление			начало уплотнения			окончание уплотнения		
		4	6	8	4	6	8	4	6	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Битум без добавок	3,4			3,0			2,9		
2	KTR 101	2,9	3,1	2,1	3,1	2,8	2,2	3,5	3,9	4,2
3	KTR 103	3,1	3,2	3,7	3,5	4,0	4,0	2,4	1,4	1,3
4	РТЭП	3,2	2,7	2,0	3,1	3,0	3,1	3,2	3,2	3,2
5	Суперпласт	3,1	4,5	2,9	3,6	2,9	3,5	3,1	3,9	4,0
6	КМА КОЛТЕК	2,9	3,0	2,9	2,5	3,0	3,4	3,2	3,2	3,2
7	УНИРЕМ-002	2,8	3,4	3,1	4,1	3,3	3,1	3,0	3,3	3,4

В связи с высокой реологической чувствительностью битума с полимерными добавками возникает вопрос о допустимых технологических температурах битума с добавками и соответственно асфальтобетонных смесей на этапах структурообразования асфальтобетона. Допустимые температуры можно определить основываясь на вышеприведенных данных. Построим графики зависимости динамической вязкости битума с добавками от температуры на этапах приготовления, начала и окончания уплотнения асфальтобетонной смеси при расходе добавок 4, 6 и 8 % (рисунки 3-5). Нанесем на графики интервалы допустимых значений динамической вязкости битума. Затем определим допустимые значения технологических температур. Для этого зафиксируем на графиках точки пересечения кривых, характеризующих динамическую вязкость битума с добавками, с граничными линиями допустимых значений вязкости и графически найдем соответствующие им температуры. Пример определения допустимых значений температур приведен на рисунке 6, а результаты определения допустимых температур приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Допустимые технологические температуры битума БНД 60/90 с полимерными добавками на этапах структурообразования асфальтобетона

№ п / п	Название добавки	Допустимые технологические температуры, °С, на этапах, при расходе добавок, % от массы битума								
		Приготовление			Начало уплотнения			Окончание уплотнения		
		4	6	8	4	6	8	4	6	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Битум без добавок	150-180			120-140			70-80		
2	KTR 101	>180	>180	>180	>140	>140	>145	>80	>80	>80
3	KTR 103	167-180	>180	>180	133-140	>140	>165	76-80	>80	>80
4	РТЭП	158-180	168-180	180	127-140	126-140	>140	73-80	77-80	>80
5	Суперпласт	176-180	170-180	>180	144-140	>140	>155	76-80	>80	80
6	КМА КОЛТЕК	150-180	160-180	167-180	120-140	129-140	>138	71-80	75-80	78-80
7	УНИРЕМ-002	154-180	162-180	167-180	128-140	128-140	>138	70-80	75-80	78-80

Из таблицы 8 следует, что на этапе приготовления асфальтобетонной смеси для битума с добавками KTR 101, KTR 103 (кроме расхода 4 %) и Суперпласт при расходе 8 % необходимые для перемешивания температуры находятся выше предельно допустимых значений, а для битума с добавкой РТЭП 8 % необходимая температура соответствует верхнему допустимому значению. Для битума с добавками КМА КОЛТЭК и УНИРЕМ-002 при всех расходах добавок температура перемешивания остается допустимой, смещаясь к верхнему пределу. То же можно сказать и о допустимых температурах битума с добавками РТЭП и Суперпласт при расходах 4 и 6 %. На этапе начала уплотнения при расходе 8% добавок KTR 101 и 103, РТЭП, Су-

перпласт необходимая температура находится выше предельно допустимой, а для КМА КОЛТЕК и УНИРЕМ-002- почти на границе предельно допустимой температуры. Требуемая температура битума с добавкой КТР 101 и 103 и Суперпласт при расходе 6% и с добавкой КТР 101 при расходе 4% находится выше предельно допустимой. Для битума с добавкой КМА КОЛТЕК 4% температурный интервал не изменяется, а для битума с остальными добавками и расходам смещается к верхнему пределу. Аналогичная картина складывается и на этапе окончания уплотнения.

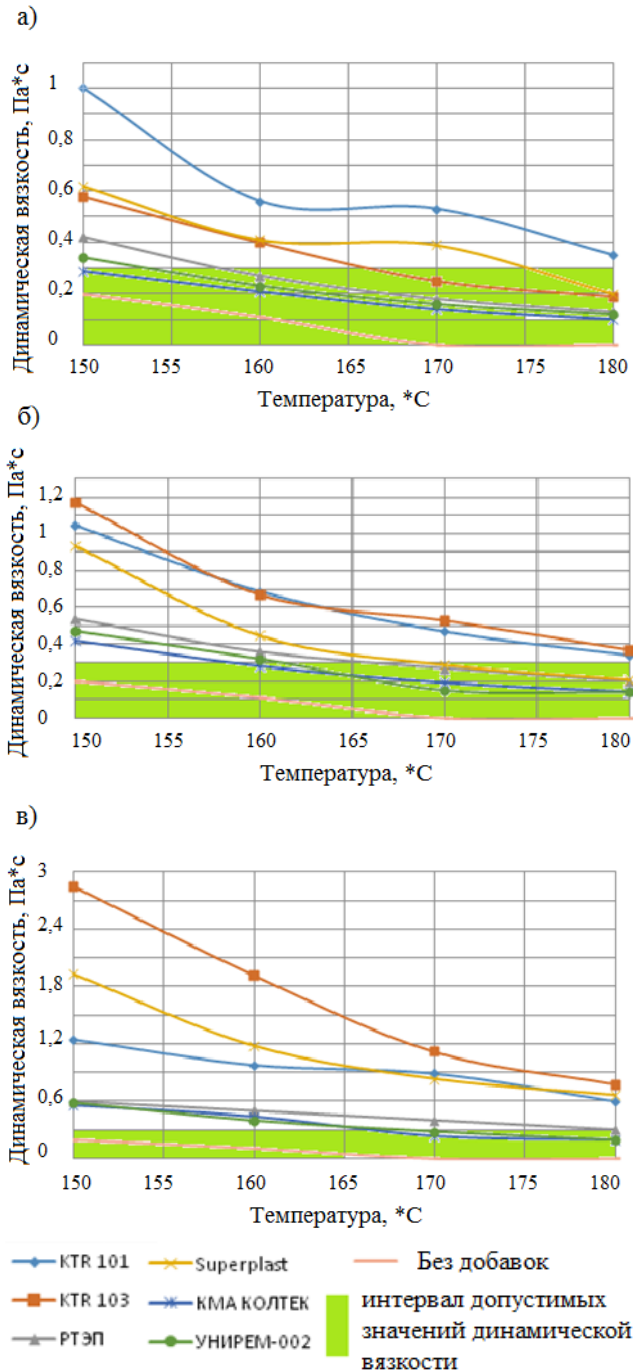


Рисунок 3 – Зависимость динамической вязкости дорожного битума БНД 60/90 с полимерными добавками от температуры на этапе приготовления а/б смеси при расходе добавок от массы битума: а) 4%; б) 6%; в) 8%

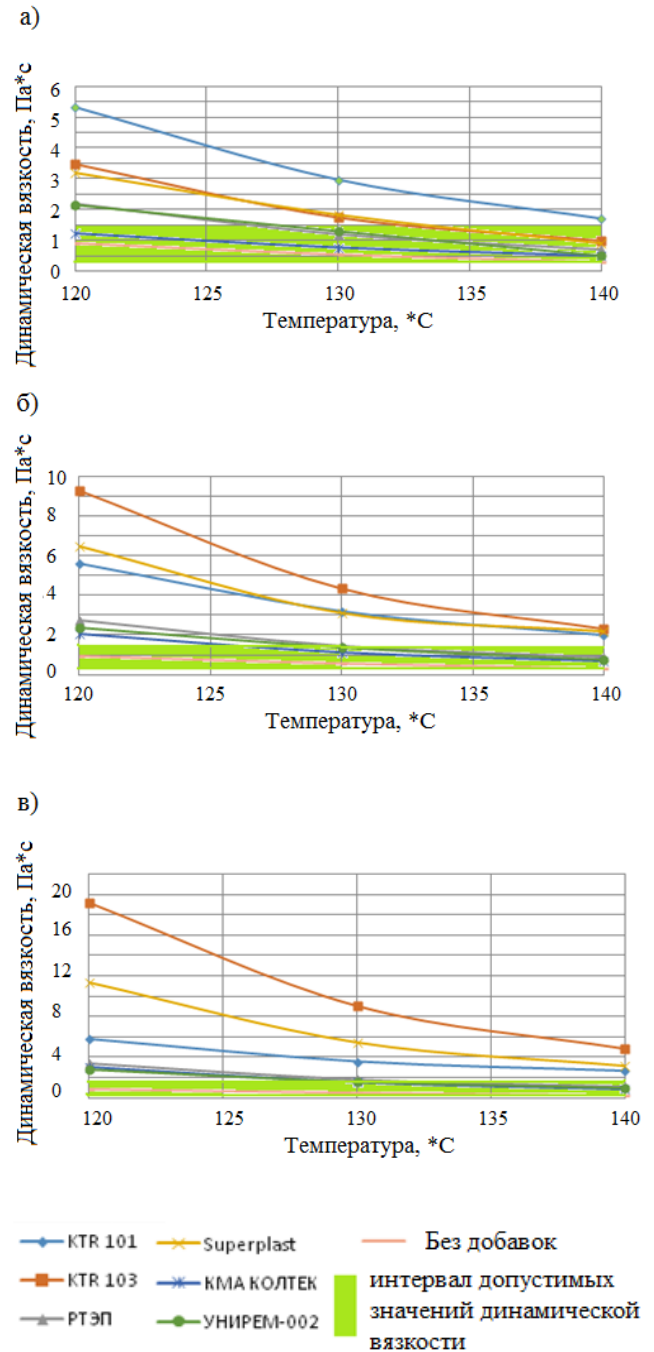


Рисунок 4 – Зависимость динамической вязкости дорожного битума БНД 60/90 с полимерными добавками от температуры на этапе начала уплотнения а/б смеси при расходе добавок от массы битума: а) 4%; б) 6%; в) 8%

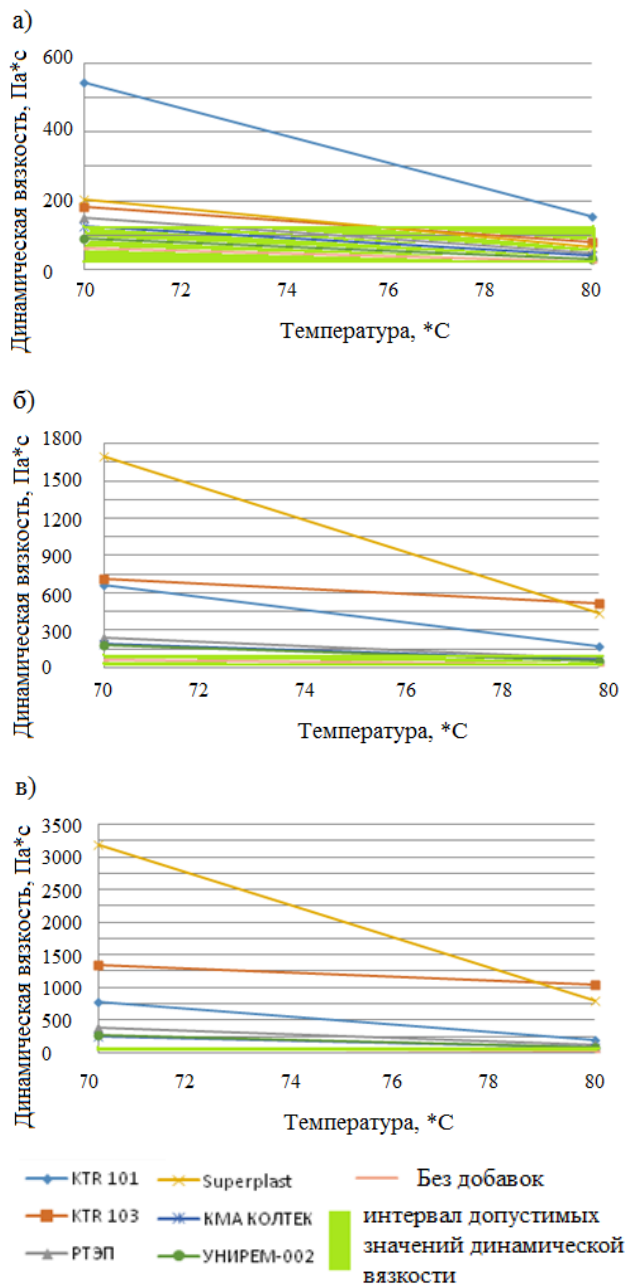


Рисунок 5 – Зависимость динамической вязкости дорожного битума БНД 60/90 с полимерными добавками от температуры на этапе окончания уплотнения а/б смеси при расходе добавок от массы битума: а) 4%; б) 6%; в) 8%

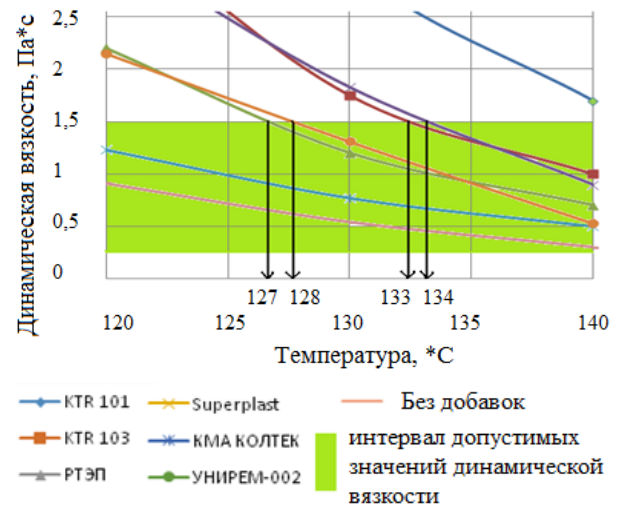


Рисунок 6 – Пример определения значений допустимых температур на начальном этапе уплотнения при расходе добавок 4% от массы битума

Следует отметить, что допустимые технологические температуры определены на основе выбранных температурных интервалов и соответствующих им интервалов динамической вязкости, которые в конкретных условиях производства могут быть другими и их следует уточнять и конкретизировать. Для горячих асфальтобетонных смесей используются разные марки битума (битум может быть жидким, полувязким, вязким), смеси могут быть жесткими, мягкими, легко-и трудноуплотняемыми в зависимости от типа смеси, содержания щебня, вида каменного материала и содержания минерального порошка. В реальных условиях производства учитываются также погодные условия, характеристики смесительного оборудования, возможности укладочной и уплотняющей техники. Исходя из вышеизложенного, возможно предложить следующий метод определения допустимых температур на этапах структурообразования асфальтобетона:

1. Определяем динамическую вязкость используемого для производства работ битума и битума с добавками при температуре 180-70°C;

2. На основе информации об устраиваемом конструктивном слое асфальтобетона, динамической вязкости битума и битума с добавками, предполагаемых погодных условиях выбираем допустимые температурные интервалы и далее на их основе интервалы допустимых значений динамической вязкости на каждом этапе структурообразования асфальтобетона;

3. Сравниваем значения динамической вязкости битума или битума с добавками на каждом этапе с допустимыми значениями и производим корректировку интервалов допустимых температур асфальтобетонных смесей на каждом этапе с учетом погодных условий, ха-

рактеристик смесительного оборудования, возможностей укладочной и уплотняющей техники, а также с учетом возможности введения технологических (низкотемпературных) добавок;

4. Проверяем в производственных условиях правильность выбора допустимых технологических температур и при необходимости их корректируем.

Различия в реологическом поведении битума с добавками при различных температурах и расходах добавок связаны со структурой полимеров и полимерных материалов, используемых в исследуемых добавках [11-14]. Растворенные в битуме термоэластопласты КТР 101 и КТР 103 представляет собой при высокой температуре и расходе более 6 % непрерывную полимерную фазу, в которой твердые размягченные термопластичные полистирольные участки макромолекул включены в размягченную и увеличенную в размерах полибутадиеновую матрицу, а длинные полимерные макромолекулы развернуты в цепи. По мере снижения температуры полимерные макромолекулы сворачиваются в клубки, увеличивая вязкость. Различие влияния на вязкость битума связано со структурой макромолекул блоксополимеров: у КТР 101 чередование звеньев выражено формулой $(S-B) \times 2$, а у КТР 103 - $(S-B-S)$. Высокую вязкость и температурную чувствительность битума с добавкой Superplast можно объяснить тем, что для ее производства использовался полиэтилен из вторичных ресурсов, т.е. с различными добавками, в том числе и твердыми наполнителями. Относительно низкое увеличение вязкости и сравнительно низкая температурная чувствительность битума с добавками РТЭП, КМА КОЛТЕК, УНИРЕМ-002 можно объяснить тем, что в добавке РТЭП используется полиолефиновый носитель небольшой молекулярной массы с определенными корректирующими компонентами, а добавки КМА КОЛТЕК и УНИРЕМ-002 можно классифицировать как рыхлую многокомпонентную дисперсную систему, в которой частицы резинового порошка смешаны с частицами других функциональных компонентов. В битуме частицы резинового порошка проявляют диспергирующее действие, а другие полимерные компоненты расплавляются и взаимодействуют со структурными компонентами битума.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85 [Текст]: СП 78.13330. 2012. – М.: ООО «Аналитик». – С.39.
2. Асфальт в дорожном строительстве [Текст]/Юрген Хученройтер, Томас Вёрнер. –М.: ИД «АБВ-пресс», 2013.-С.34-144.
3. Укладка дорожного покрытия из горячей асфальтобетонной смеси в Северной Америке. Руководство 2000 : АС 150/5370-14А.Приложение 1[Текст]/Пер. с англ.-М.: Росавтодор.-С.231-255.
4. Уплотнение и укладка. Теория и практика [Текст]/Сведала Россия, Санкт-Петербург, Россия.- Швеция: Kalmarsund, Tryck AB,2000.-90 с.
5. Автомобильные дороги. Устройство асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог. Часть 2: Устройство асфальтобетонных покрытий из горячего асфальтобетона [Текст]: СТО 017 НОСТРОЙ 2.25.37-2013.- М.:НОС,НП «МОД «Союздорстрой».-С.36.
6. Королев И.В. Реологические свойства битумов, наполненных минеральным порошком [Текст] / И.В. Королев, Т.А. Ларина // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. – 1981. - № 5. – С. 80-84.
7. Дорожный теплый асфальтобетон [Текст]/ И.В. Королев и др.-Киев : Вища школа,1984.-С.150-151.
8. Бабаев В.И. Технические поверхностно-активные вещества из вторичных ресурсов в дорожном строительстве [Текст]/В.И. Бабаев, И.В. Королев, А.М. Гридчин, В.И. Шухов.-М.: Транспорт,1991.-С.71.
9. Хуссейн Бахия Оценка устойчивости модифицированных битумов/ Глобальные перспективы технологии асфальта.Суперпепейв-современная система проектирования асфальтобетонов высокой эксплуатационной надежности. Материалы российско-американского семинара, 5-6 декабря 2013 г., Санкт-Петербург.
10. Куликова А.В. Реологические свойства дорожного битума с добавками для теплого асфальтобетона/ А.В. Куликова, А.Б. Соломенцев// Строительство и реконструкция.-Орел : Госуниверситет-УНПК.-2013.-№ 5.-С.73-78.
11. Золотарев В.А. Битумы, модифицированные полимерами и добавками. Избранные труды [Текст]/В.А. Золотарев.-Санкт-Петербург : Славутич,2013.-Т.2.-149 с.
12. Галдина В.Д. Модифицированные битумы : учебное пособие [Текст]/В.Д. Галдина.-Омск : СибАДИ, 2009.-228 с.

13. Калгин Ю.И. Дорожные битумоминеральные материалы на основе модифицированных битумов [Текст]/ Ю.И. Калгин.-Воронеж : Изд-во Воронеж. Гос.ун-та,2006.-272 с.

14. Соломенцев А.Б. Взаимодействие дорожного битума со стабилизирующими полимерными добавками для щебеночно-мастичного асфальтобетона [Текст] / А.Б. Соломенцев, И.А. Баранов / Юбилейная международная научно-практическая конференция «Научные технологии и инновации», 9-10 октября 2014г. [Текст]: [сборник докладов, часть 5]. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014г. – С. 79-85.

Соломенцев Александр Борисович

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, город Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство автомобильных дорог»
E-mail: absolomentsev@mail.ru

Ревякин Сергей Леонидович

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, город Орел
Аспирант кафедры «Строительство автомобильных дорог»
E-mail: s.rewiakin@yandex.ru

Оноприйчук Денис Алексеевич

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, город Орел
студент кафедры «Строительные конструкции и материалы»
E-mail: denis.onoprichuk@mail.ru

A.B. SOLOMENTSEV, S.L. REVYAKIN, D.A. ONOPRICHUK

ROAD BITUME RHEOLOGICAL SENSITIVITY TO POLYMER ADDITIVES AND ALLOWABLE TECHNOLOGICAL TEMPERATURES OF ASPHALT-CONCRETE MIXTURES

The obtained values of dynamic viscosity of bitumen with polymer additives in the temperature range 70-180 OS and the additives consumption of 6-8% from weight of bitumen. The determination of rheological sensitivity, and proposed formula to calculate the sensitivity of bitumen with additives to reduce the temperature and increase the consumption of additives. The selected temperature intervals of the allowed values of dynamic viscosity of bitumen at the stages of formation of the asphalt concrete. Determined rheological sensitivity of bitumen with additives at the stages of preparation and compaction of asphalt mixes. A method for determining and determined by the acceptable process temperature of bitumen with additives and asphalt mixes respectively at the stages of formation of the asphalt concrete.

Keywords: *polymer additives, the viscosity of road bitumen with additives, rheological sensitivity of bitumen with additives, strukturoobrazovatelja asphalt concrete, permissible process temperature with additives and asphalt mixes.*

REFERENCES

1. Avtomobil'nyye dorogi. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 3.06.03-85 [Текст]: SP 78.13330. 2012. – М. : ООО «Аналитик».- S.39.
2. Asfal't v dorozhnom stroitel'stve [Текст]/Yurgen Khuchenroyter, Tomas Vornier.-М.: ID «ABV-press», 2013.- S.34-144.
3. Ukladka dorozhnogo pokrytiya iz goryachey asfal'tobetonnoy smesi v Severnoy Amerike. Rukovodstvo 2000 : AS 150/5370-14A.Prilozheniye 1[Текст]/Per. s angl.-М.: Rosavtdor.-S.231-255.
4. Uplotneniye i ukladka. Teoriya i praktika [Текст]/Svedala Rossiya, Sankt-Peterburg, Rossiya.- Shvetsiya: Kalmarsund, Tryck AB,2000.-90 s.
5. Avtomobil'nyye dorogi. Ustroystvo asfal'tobetonnykh pokrytiy avtomobil'nykh dorog. Chast' 2: Ustroystvo asfal'tobetonnykh pokrytiy iz goryachego asfal'tobetona [Текст]: STO 017 NOSTROY 2.25.37-2013.- М.:NOS,NP «MOD «Soyuzdorstroy».-S.36.
6. Korolev I.V. Reologicheskiye svoystva bitumov, napolnennykh mineral'nykh poroshkom [Текст] / I.V. Korolev, T.A. Larina // Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo i arkhitektura. – 1981. - № 5. – S. 80-84.
7. Dorozhnyy teplyy asfal'tobeton [Текст]/ I.V. Korolev i dr.-Kiyev : Vishcha shkola,1984.-S.150-151.
8. Babayev V.I. Tekhnicheskiye poverkhnostno-aktivnyye veshchestva iz vtorichnykh resursov v dorozhnom stroitel'stve [Текст]/V.I. Babayev, I.V. Korolev, A.M. Gridchin, V.I. Shukhov.-М.: Transport,1991.-S.71.

9. Khusseyin Bakhiya Otsenka ustoychivosti modifitsirovannykh bitumov/ Global'nyye perspektivy tekhnologii asfal'ta. Superpeyv-sovremennaya sistema proyektirovaniya asfal'tobetonov vysokoy ekspluatatsionnoy nadezhnosti. Materialy rossiysko-amerikanskogo seminara, 5-6 dekabrya 2013 g., Sankt-Peterburg.
10. Kulikova A.V. Reologicheskiye svoystva dorozhnogo bituma s dobavkami dlya teplogo asfal'tobetona/ A.V. Kulikova, A.B. Solomentsev// Stroitel'stvo i rekonstruktsiya.-Orel : Gosuniversitet-UNPK.-2013.-№ 5.-S.73-78.
11. Zolotarev V.A. Bitumy, modifitsirovannyye polimerami i dobavkami. Izbrannyye trudy [Tekst]/V.A. Zolotarev.-Sankt-Peterburg : Slavutich,2013.-T.2.-149 s.
12. Galdina V.D. Modifitsirovannyye bitumy : uchebnoye posobiye [Tekst]/V.D. Galdina.-Omsk : SibaDI, 2009.-228 s.
13. Kalgin YU.I. Dorozhnyye bitumomineral'nyye materialy na osnove modifitsirovannykh bitumov [Tekst]/ YU.I. Kalgin.-Voronezh : Izd-vo Voronezh. Gos.un-ta,2006.-272 s.
14. Solomentsev A.B. Vzaimodeystviye dorozhnogo bituma so stabiliziruyushchimi polimernymi dobavkami dlya shchebenochno-mastichnogo asfal'tobetona [Tekst] / A.B. Solomentsev, I.A. Baranov / Yubileynaya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Naukoyemkiye tekhnologii i innovatsii», 9-10 oktyabrya 2014g. [Tekst]: [sbornik dokladov, chast' 5]. – Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2014g. – S. 79-85.

A.B. Solomentsev

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

Candidate of technical sciences, associate professor of the department "Construction of highways"

E-mail: absolomentsev@mail.ru

S.L. Revyakin

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

Post-graduate student of the department "Construction of highways"

E-mail: s.reviakin@yandex.ru

D.A. Onopriychuk

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

Student of the department "Building structures and materials"

E-mail: denis.onopriychuk@mail.ru

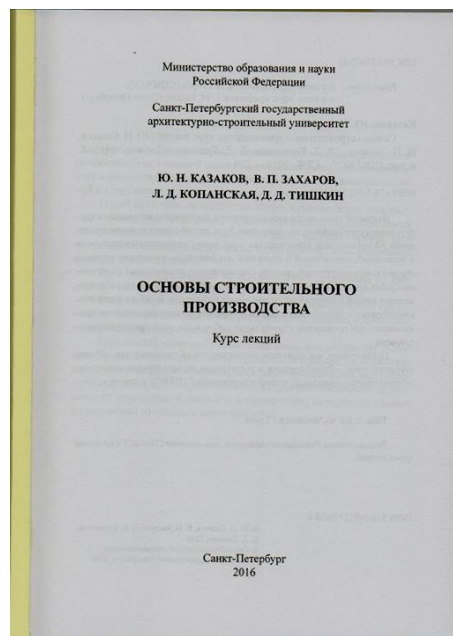
РЕЦЕНЗИЯ НА УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ «ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА»

Казаков Ю.Н., Тишкин Д.Д., Захаров В.П., Копанская Л.Д. Основы строительного производства»: учеб. пособие. – СПб. : СПбГАСУ, 2016. 252 с.

Рецензируемое учебное пособие «Основы строительного производства» является уже вторым изданием, переработанным и дополненным, после выхода и многолетней апробации первой книги в 2008г. в учебном процессе СПбГАСУ. В основу изложения материала авторами положено представление строительных процессов по содержанию в технологическом отношении как совокупности двух аспектов. Первый аспект определяет особенности, происходящие с материальными элементами в пространстве и времени без изменения их физико-механических свойств, а именно: транспортирование, укладку, сборку, стыковку и др. Второй аспект определяет физико-химические превращения, изменяющие конечные свойства материальных элементов, а именно: прочность, плотность, напряженность, теплопроводность, водонепроницаемость и др.

В учебном пособии последовательно, от простого к сложному, и от общего к частному, доступным языком для студентов изложены все базовые темы, необходимые учащимся для изучения материала по главной дисциплине кафедры - «Основы строительного производства». Пособие содержит основные сведения об организации строительства, всех этапах строительных процессов и технологий, нормативной и проектной документации, технологии монтажа строительных конструкций, средствах механизации и автоматизации строительных работ, приемах выполнения монтажных операций и отделочных работ, возведении зданий и сооружений из различных материалов. Системно даны пути применения как традиционных, так и новейших оптимальных технологий при решении разных задач строительства зданий в России.

Практическая значимость книги заключается в том, что в ней впервые приведены практические рекомендации авторов, которые они выработали в процессе своих научных исследований в РААСН, СПбГАСУ, Службе государственного строительного надзора и экспертизы Санкт-Петербурга. Книга развивает существующие издания по теме. Она может быть полезна не только для студентов, но и преподавателей, научных работников и аспирантов вузов, осуществляющих подготовку студентов по строительным специальностям, для специалистов строительных организаций.



В. И. Морозов

член-корреспондент РААСН, д.т.н., профессор,
заведующий кафедрой строительных конструкций
ФГБОУ ВО «СПбГАСУ», эксперт ООО «Межрегионэкспертиза»

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с основными требованиями
к оформлению научных статей

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит **от 4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и сверху – 2 см.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.
- **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

В тексте статьи не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

Обязательные элементы:

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый объем – не менее 100 слов;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

С полной версией требований к оформлению научных статей
Вы можете ознакомиться на сайте www.build.oreluniver.ru

Адрес издателя:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская область, г. Орел, ул. Комсомольская д. 95
+7 (4862) 777-318

www.oreluniver.ru

E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302006, г. Орел, ул. Московская, 77.
+7 (4862) 73-43-49

www.build.oreluniver.ru

E-mail: str_and_rek@mail.ru

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор С.Ю. Савин
Компьютерная верстка С.Ю. Савин

Подписано в печать 30.11.2017 г.
Дата выхода в свет 14.12.2017 г.
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 8,8.
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ №_____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической
базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.