

Редакционный совет:

Голенков В.А. д.т.н., проф., председатель
Радченко С.Ю. д.т.н., проф.,
зам. председателя
Борзенков М.И. к.т.н., доц., секретарь
Астафичев П.А. д.ю.н., проф.
Иванова Т.Н. д.т.н., проф.
Киричек А.В. д.т.н., проф.
Колчунов В.И. д.т.н., проф.
Константинов И.С. д.т.н., проф.
Новиков А.Н. д.т.н., проф.
Попова Л.В. д.э.н., проф.
Степанов Ю.С. д.т.н., проф.

Главный редактор:

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

Заместители главного редактора:

Данилевич Д.В. к.т.н., доц.
Колесникова Т.Н. д. арх., проф.
Коробко В.И. д.т.н., проф.

Редколлегия:

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

© ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2017

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Демьянов А.И., Колчунов В.И., Сенченко Д.С., Терских А.Б. Расчетная модель статико-динамического деформирования в железобетонной центрально-растянутой конструкции в момент разрушения бетонной матрицы.....	3
Карпова Е.В. Численные исследования составных пластин трапециевидного очертания, жестко защемленных и шарнирно опертых по контуру	10
Кирсанов М.Н. Индуктивный вывод формул для деформаций плоской решетчатой фермы	17
Малинин В.Г., Муссауи Ю.Ю., Бурдин Ю.А. Вопросы практического применения материалов с памятью формы для усиления строительных конструкций.....	23
Семенов О.С., Тур В.В. Собственные деформации и самонапряжения элементов из напрягающего бетона в условиях осевого ограничения	32
Травуш В.И., Мурашкин В.Г. Влияние ползучести на распределение деформаций и напряжений в изгибаемом элементе	57

Архитектура и градостроительство

Благодетелева О.М. Градостроительные аспекты вахтового освоения северных и арктических территорий	71
Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В., Черняева И.В. Количественная оценка доступности объектов инфраструктуры при реализации функций биосферосовместимого города.....	85
Сысоева Е.В., Трушин С.И. История проектирования и строительства цирков России	95
Хомяков А.И. Повествование в пространстве: эволюция отечественных мемориально музейных комплексов.....	103

Строительные материалы и технологии

Щепочкина Ю.А. О применении пустотелого кирпича при реставрации исторических объектов	111
--	-----

Editorial council:

Golenkov V.A. *Doc. Sc. Tech., Prof., president*

Radchenko S.Y. *Doc. Sc. Tech., Prof., vice-president*

Borzenkov M.I. *Candidat Sc. Tech., Assistant Prof.*

Astafichev P.A. *Doc. Sc. Law., Prof.*

Ivanova T.N. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Kirichek A.V. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

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

Konstantinov I.S. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Novikov A.N. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Popova L.V. *Doc. Ec. Tech., Prof.*

Stepanov Y.S. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Editor-in-chief

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

Editor-in-chief assistants:

Danilevich D.V. *Candidat Sc. Tech., Assistant Prof.*

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.*

Gordon V.A. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Emelyanov S.G. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Karpenko N.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Korobko A.V. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Korol E.A. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Rimshin V.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Sergeyчук O.V. *Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)*

Serpik I.N. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Tamrazyan A.G. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Tur V.V. *Doc. Sc. Tech., Prof. (Belorussia)*

Turkov A.V. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Fyodorov V.S. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Fyodorova N.V. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Chernyshov E.M. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Schach R. *Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)*

Responsible for edition:

Savin S.Yu. *Candidat Sc. Tech*

The edition address: 302006, Orel,

Street Moscow, 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 technology and mass communications

The certificate of registration:

ПИ №ФС 77-67169 from 16 september 2016

Index on the catalogue of the «**Pressa Rossii**»
86294

© Orel State University, 2017

Contents

Theory of engineering structures. Building units

Dem'yanov A., Kolchunov V.I., Kashavzev A., Senchenko D., Terskih A. The experimental study of durability reinforced concrete composite structures with regard to corrosion and their analysis	3
Karpova E. Numerical analysis of composite trapezoidal plates, which are clamped or simply supported along the contour	10
Kirsanov M. Inductive derivation of the formulas for deformations of flat lattice trusses	17
Malinin V., Mussaui Yu., Burdin Yu. The application of shape memory alloys for civil structures reinforcement	23
Semianiuk V., Tur V. Restrained strains and self-stresses of the self-stressed concrete members in the uniaxial restraint conditions	32
Travush V., Murashkin V. Influence of creep to deformation and stress distributions of a bending element	57

Architecture and town-planning

Blagodeteleva O. Town-planning aspects of northern and arctic territories development with fly-in fly-out method	71
Ilyichev V., Kolchunov V., Bakayeva N., Chernyaeva I. Quantitative assessment of the availability of infrastructure for implementing features biosphere compatible city	85
Sysoeva E., Trushin S. The history of design and construction of circuses in Russia	95
Khomyakov A. Narration in space: the evolution of native memorial and museum complex	103

Construction materials and technologies

Shchepochkina Ju. About the use of hollow brick during the restoration of historical objects	111
---	-----

УДК 624.012.45

ДЕМЬЯНОВ А.И., КОЛЧУНОВ Вл. И., СЕНЧЕНКО Д.С., ТЕРСКИХ А.Б.

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ СТАТИКО-ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ЦЕНТРАЛЬНО-РАСТЯНУТОЙ КОНСТРУКЦИИ В МОМЕНТ РАЗРУШЕНИЯ БЕТОННОЙ МАТРИЦЫ

В статье рассмотрено построение расчетной модели статико-динамического деформирования в железобетонной центрально-растянутой железобетонной конструкции при разрушении бетонной растянутой матрицы (образования трещин). Сформулированы рабочие предпосылки и построены расчетные формулы. Анализируется переходное состояние от сопротивления железобетонных конструкций со сплошной растянутой зоной к сопротивлению после нарушения сплошности бетона, где имеет место импульсное воздействие, которое, конечно же, желательно учитывать в расчете. Приведен пример расчета коэффициента динамичности для напряжений в растянутой арматуре.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, центральное растяжение, расчетная модель, деформирование, импульсное воздействие, разрушение.

Постановка проблемы. В настоящее время в теории железобетона задача образования трещин в железобетонных конструкциях все чаще рассматривается, как динамическая [1, 2, 4–12 и др.]. В момент разрушения бетонной растянутой матрицы (образования трещин) в железобетонных конструкциях имеет место импульсное воздействие, которое, конечно же, желательно учитывать в расчете.

Исследовательская часть. Ниже рассмотрено построение расчетной модели статико-динамического деформирования в железобетонной центрально-растянутой железобетонной конструкции при разрушении бетонной растянутой матрицы (образования трещин). Анализируется переходное состояние от сопротивления железобетонных конструкций со сплошной растянутой зоной к сопротивлению после нарушения сплошности бетона.

Для оценки эффекта импульсного воздействия в виде мгновенного выключения из работы отдельного элемента (сечения или его части, узла) системы будем исходить из следующих основных гипотез:

- 1) под мгновенным разрушением элемента (или его части) из двухкомпонентного нелинейно (линейно)-упругого материала будем понимать разрушение, продолжительность реализации которого исчисляется десятками и сотыми долями секунды;

- 2) при мгновенном переходе заданной n -ой стержневой конструктивной системы (ее расчетной модели) из двухкомпонентного материала к $(n-1)$ системе (расчетной модели), полная удельная энергия системы не изменяется;

- 3) теоретическая диаграмма состояния арматуры до наступления текучести принимается в виде линейной диаграммы, рис. 1;

- 4) при мгновенном выключении из работы растянутой зоны отдельного сечения (образования в ней трещины) динамический эффект проявляется согласно принципу Сен-Венана лишь в местной зоне, прилегающей к сечению с трещиной; при этом наиболее существенное проявление динамического эффекта имеет место в арматуре, в месте

пересечения ее трещиной, как в момент образования трещины, так и в случае разрушения от разрыва арматуры.

Напряжения в арматуре $\sigma_{s,n-1}^d$ и соответствующие им относительные деформации в сечении с трещиной неразрушенной арматуры $(n-1)$ -раз внутренне статически неопределимой системы в течение первого полупериода её колебаний; безусловно он будет превышать аналогичный параметр, который имел бы место в этой системе, если бы переход n -системы в систему $(n-1)$ осуществлялся не в результате мгновенного разрушения сечения с трещиной, а путем его медленного принудительного разгрузки от некоторого значения предельного напряжения, воспринимаемого арматурой, до нуля. При неизменной внешней нагрузке на систему ($\beta = \beta_k = const$) и медленном принудительном переводе системы n в систему $(n-1)$ напряжения в арматуре $\sigma_{s,n-1}^c$ и соответствующие им относительные деформации в сечении с трещиной железобетонной конструкции равнялись бы соответствующим значениям напряжений и деформаций в исходной нелинейно-упругой системе с заранее удаленной частью сечения (трещиной) при медленном статическом возрастании параметра η от нуля до (β_k) .

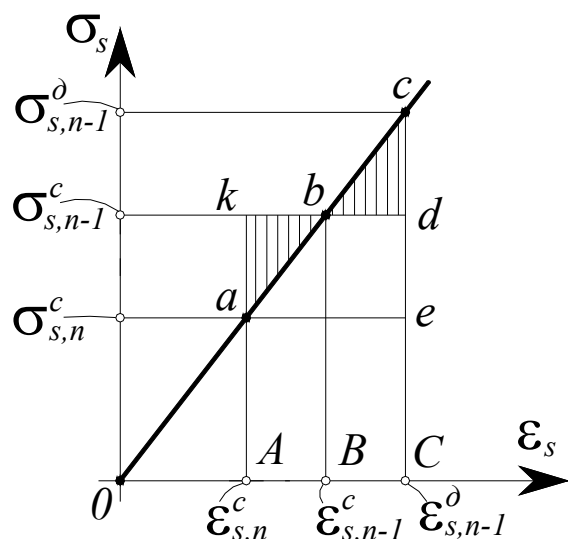


Рисунок 1 – Теоретическая диаграмма деформирования арматуры, используемая для определения динамических напряжений арматуры в сечении с трещиной $(n-1)$ раз внутренне статической неопределимой системы из двухкомпонентного материала

Перед образованием трещины в сечениях железобетонной конструкции имеет место стадия напряженно-деформированного состояния – Ia, (рис. 2, а). Растягивающие напряжения в бетоне – σ_{bt} приближаются к пределу прочности при растяжении – R_{bt} . В растянутой зоне сечения деформации удлинения бетона достигают предельных значений $\epsilon_{bt,u}$.

Продольная сила, вызывающая образование трещин определяется из уравнения равновесия проекций всех сил на ось X равных нулю $\sum X = 0$:

$$- N_{bt,n}^c - N_{s,n}^c + N_n^c = 0; \quad (1)$$

$$- R_{bt} \cdot b \cdot h_n - \sigma_{s,n}^c \cdot A_s + N_n^c = 0. \quad (2)$$

Здесь

$$\sigma_{s,n}^c = 2\alpha \cdot R_{bt}, \quad (3)$$

где $\sigma_{s,n}^c$ – напряжения в растянутой

арматуре перед образованием трещин в стадии Ia;

$\sigma_{bt,n}^c$ – напряжения в растянутом бетоне перед образованием трещин; $\sigma_{bt,n}^c = R_{bt}$;

h_n – высота сечения центрально-растянутого железобетонного стержня.

С учетом выше принятых обозначений будем иметь:

$$- R_{bt} \cdot b_n \cdot h_n - 2\alpha \cdot R_{bt} A_s + N_n^c = 0. \quad (4)$$

Тогда,

$$N_n^c = R_{bt} \cdot b_n \cdot h_n + 2\alpha \cdot R_{bt} A_s. \quad (5)$$

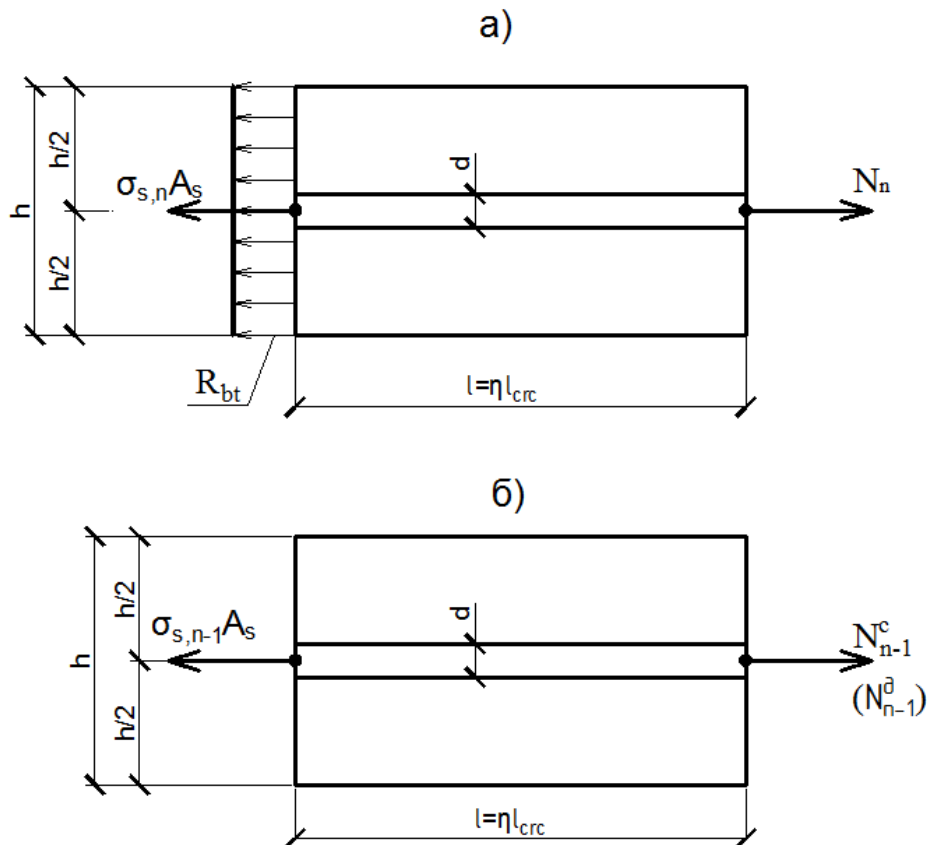


Рисунок 2 – Напряженно-деформированное состояние железобетонной центрально-растянутой конструкции:
 а – схема усилий в бетоне (арматуре) в поперечном сечении в стадии Ia;
 б – схема усилий в арматуре в поперечном сечении с трещиной в стадии II

После образования трещин в сечениях железобетонной конструкции имеет место стадия напряженно-деформированного состояния – II. В центрально-растянутом железобетонном стержне трещина распространяется на всю высоту сечения и все растягивающие усилия в сечении с трещиной воспринимаются только растянутой арматурой, рис. 2, б. На участке между трещинами сцепление арматуры с бетоном не нарушено, и бетон продолжает работать на растяжение, несколько разгружая арматуру.

Для средних сечений, расположенных на участке между трещинами и испытывающих симметричные воздействия слева и справа, может быть принята гипотеза плоских сечений, которая, для центрального растянутого железобетонного стержня, трансформируется в прямоугольник рис. 2, а.

Продольная сила, вызывающая образование трещин в стадии II, определяется из уравнения равновесия всех сил на ось X , равных нулю, вырезанного представительного объема бетона с центрально-растянутым арматурным стержнем проекций в сечении с трещиной ($\sum X = 0$):

$$-\sigma_{s,n-1} \cdot A_s + N_{n-1,crc}^c = 0; \quad (6)$$

$$N_{n-1,crc}^c = \sigma_{s,n-1} \cdot A_s. \quad (7)$$

Учитывая, что после образования трещин внешнее продольное усилие не изменяется (если бы переход n -системы в систему $(n-1)$ осуществлялся не в результате мгновенного разрушения сечения с трещиной, а путем его медленного принудительного разгрузки), то приравнивая зависимости (5) и (7), получим:

$$N = N_{n,crc}^c = R_{bt} \cdot b_n \cdot h_n + 2\alpha \cdot R_{bt} A_s = \sigma_{s,n-1}^c \cdot A_s. \quad (8)$$

Из уравнения (8) отыскивается неизвестное напряжение в стадии II в растянутой арматуре в сечении с трещиной $\sigma_{s,n-1}^c$:

$$\sigma_{s,n-1}^c = \frac{R_{bt} \cdot b_n \cdot h_n + 2\alpha \cdot R_{bt} A_s}{A_s} \leq R_s. \quad (9)$$

Теперь, принимая во внимание исследования [1 и 2], применительно к рабочей арматуре с учетом рис. 1, будем иметь:

$$\sigma_{s,n-1}^d = 2\sigma_{s,n-1}^c - \sigma_{s,n}^c. \quad (10)$$

Подставляя в формулу (10) выражения для определения $\sigma_{s,n-1}^c$, полученные из уравнения (9), а также учитывая, что $\sigma_{s,n}^c = 2\alpha \cdot R_{bt}$, отыскиваем напряжения в арматуре $\sigma_{s,n-1}^d$ в сечении с трещиной $(n-1)$ -раз внутренне статически неопределимой системы в течение первого полупериода колебаний.

$$\sigma_{s,n-1}^d = 2 \cdot \frac{R_{bt} \cdot b_n \cdot h_n + 2\alpha \cdot R_{bt} A_s}{A_s} - 2\alpha \cdot R_{bt}. \quad (11)$$

где $\sigma_{s,n-1}^d$ – напряжения в растянутой арматуре в сечении с трещиной, которые возникли бы в этой системе, если бы переход n -системы в систему $(n-1)$ осуществлялся в результате мгновенного разрушения части сечения включающего только растянутый бетон.

Обоснование полученных результатов. Рассмотрим *пример расчета. Исходные данные:*

1. Задаются исходные данные для выполнения расчета: геометрические характеристики сечения, – $h=10\text{ см}$, $b=10\text{ см}$; класс бетона В20, тяжелый; рабочая растянутая арматура 1Ø10А400С.

$$R_b = \frac{R_{bn}}{1 - 1,64 \cdot 0,135} = \frac{1,5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}}{0,7786} = 1,93 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2},$$

$$R_{bt} = \frac{R_{bt,n}}{1 - 1,64 \cdot 0,135} = \frac{0,14 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}}{0,7786} = 0,18 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}, \quad \nu_{bt} = 0,85 \div 1, \quad \nu_{bc} = 0,45.$$

$$E_b = 2700 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}, \quad G = 0,3E_b = 900 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}, \quad E(\lambda) = 0,85E_b = 2295 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Рабочая растянутая арматура 1Ø10А400С,

$$R_s = \frac{R_{Sn}}{\gamma_s} = \frac{39 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}}{1} = 39 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}, \quad E_s = 2 \cdot 10^4 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}, \quad A_s = \frac{\pi \cdot (1,0)^2}{4} = 0,785 \text{ см}^2,$$

$$S_s = 2\pi r = \pi d = 3,14151, 0 = 3,1415 \text{ см}, \quad \alpha_s = \frac{E_s}{\nu_{b,t} E_{b,1}} = \frac{20000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}}{0,85 \cdot 2700 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}} = 8,71;$$

$$A_b = b \cdot h = 10 \cdot 10 = 100 \text{ см}^2.$$

2. Значения напряжений в бетоне и растянутой арматуре:

$$\sigma_{bt,n}^c = R_{bt} = 2700 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \quad \sigma_{s,n}^c = 2\alpha \cdot R_{bt} = 2 \cdot 8,71 \cdot 0,18 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = 3,1356 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

3. Отыскивается неизвестное напряжение в растянутой арматуре в сечении с трещиной $\sigma_{s,n-1}^c$ по формуле (9):

$$\sigma_{s,n-1}^c = \frac{R_{bt} \cdot b_n \cdot h_n + 2\alpha \cdot R_{bt} A_s}{A_s} = \frac{0,18 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \cdot 10 \cdot 10 + 2 \cdot 8,71 \cdot 0,18 \cdot 0,785}{0,785} = 26,06 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

4. Отыскиваются напряжения в арматуре $\sigma_{s,n-1}^\partial$ в произвольном k -том сечения неразрушенной части $(n-1)$ -раз внутренне (внешне) статически неопределимой системы в течение первого полупериода колебаний по формуле (11):

$$\sigma_{s,n-1}^\partial = 2\sigma_{s,n-1}^c - \sigma_{s,n}^c = 2 \cdot 26,06 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} - 3,14 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = 48,98 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

5. Отыскивается коэффициент динамичности для напряжений в арматуре:

$$\frac{\sigma_{s,n-1}^\partial}{\sigma_{s,n-1}^c} = \frac{48,98 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}}{26,06 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}} = 1,879.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гениев, Г. А. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях : монография / [Гениев Г. А., Колчунов В. И., Клюева Н. В. и др.]. – М. : АСВ, 2004. – 216 с.
2. Колчунов, В.И. Расчетная модель статико-динамического деформирования железобетонные изгибаемых конструкций в момент разрушения бетонной растянутой матрицы / В. И. Колчунов, И. А. Яковенко // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2016. – Вип. 3(98). – Ч. 1. – С. 56–62.
3. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения : СП 63.13330.2012. – [Введены в действие с 2013–01–01]. – М. : Министерство регионального развития РФ, 2012. – 156 с. – (Свод правил. Актуализированная редакция СНиП 52–01–2003).
4. Бондаренко, В. М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона : монография / В. М. Бондаренко, В. И. Колчунов. – М. : Издательство АСВ, 2004. – 472с.
5. Верюжский, Ю.В. Методы механики железобетона : учебн. пособие / Ю. В. Верюжский, В. И. Колчунов. – К. : Книжкове видавництво НАУ, 2005. – 653с.
6. Гольшев А.Б. Сопротивление железобетона: монография / А.Б. Гольшев, В. И. Колчунов. – К. : Основа, 2009. – 432 с.
7. Гольшев, А. Б. Теория и расчет железобетонных сборно-монолитных конструкций с учетом длительных процессов : монография / А. Б. Гольшев, В. И. Колчунов, И. А. Яковенко ; под ред. д-ра техн. Наук А. Б. Гольшева. – К. : «Талком», 2013. – 337 с.
8. Гольшев, А. Б. Сопротивление железобетонных конструкций, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях: монография / А. Б. Гольшев, В. И. Колчунов, И. А. Яковенко. – К. : «Талком», 2015. – 371 с.
9. Методика определения жесткости плосконапряженных и стержневых железобетонных составных конструкций при сейсмических воздействиях / [Колчунов В. И., Марьенков Н. Г., Омельченко Е. В. и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – М. : 2014. – №2. – С. 12–15.
10. Salnikov A., Kolchunov V.I., Yakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending // Applied Mechanics and Materials. Vols. 725–726 (2015), pp 784–789.

11. Павліков, А.М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косо завантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії : монографія / Андрій Миколайович Павліков. – Полтава : ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2007. – 259 с.

12. Bambura A. To assessment of bearing capacity and deformability of the reinforced concrete structures on the basis of material deformation real diagrams and deformation approach / Andriy Bambura, Oleksandr Gurkivskiy, Marianna Bezbozhna // *fip Symposium “Keep Concrete Attractive”*, Budapest 2005. – P. 742–747.

Демьянов Алексей Иванович

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: speccompany@gmail.com

Колчунов Владимир Иванович

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства

E-mail: vlik52@mail.ru

Сенченко Денис Сергеевич

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

бакалавр

E-mail: vlik52@mail.ru

Терских Алексей Борисович

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

бакалавр

E-mail: vlik52@mail.ru

A. DEM'YANOV, VI. KOLCHUNOV, A. KASHAVZEV, D. SENCHENKO, A. TERSKIИ

**THE EXPERIMENTAL STUDY OF DURABILITY REINFORCED
CONCRETE COMPOSITE STRUCTURES WITH REGARD
TO CORROSION AND THEIR ANALYSIS**

The article deals with the creation of a computational model static-dynamic deformation in a reinforced concrete central-tensioned reinforced concrete construction with the destruction of a concrete stretched matrix (the formation of cracks). The work assumptions are formulated and calculation formulas are constructed. The transitional state is analyzed from the resistance of reinforced concrete constructions with a solid stretched zone to the resistance after disrupting the continuity of concrete, where there is an impulse effect, which, of course, it is desirable to take into account at calculation. The example of calculating the dynamic coefficient for stresses in a stretched armature is given.

Key words: *reinforced concrete constructions, central-tension, calculation model, static and dynamic deformation, impulse action.*

BIBLIOGRAPHY

1. Geniyev, G. A. Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnykh konstruksiy pri zaproyektnykh vozdeystviyakh : monografiya / [Geniyev G. A., Kolchunov V. I., Klyuyeva N. V. i dr.]. – M. : ASV, 2004. – 216 s.

2. Kolchunov, V.I. Raschetnaya model' statiko-dinamicheskogo deformirovaniya zhelezobetonnyye izgibayemykh konstruksiy v moment razrusheniya betonnoy rastyanutoy matritsy / V. I. Kolchunov, I. A. Yakovenko // *Visnik Kremenchuts'kogo natsional'nogo univrsitetu imeni Mikhayla Ostrograds'kogo*. – 2016. – Vip. 3(98). – CH. 1. – S. 56–62.

3. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. Osnovnyye polozheniya : SP 63.13330.2012. – [Vvedeny v deystviye s 2013–01–01]. – M. : Ministerstvo regional'nogo razvitiya RF, 2012. – 156 s. – (Svod pravil. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 52–01–2003).

4. Bondarenko, V. M. Raschetnyye modeli silovogo soprotivleniya zhelezobeta : monografiya / V. M. Bondarenko, V. I. Kolchunov. – M. : Izdatel'stvo ASV, 2004. – 472s.
5. Veryuzhskiy, YU.V. Metody mekhaniki zhelezobeta : uchebn. posobiye / YU. V. Veryuzhskiy, V. I. Kolchunov. – K. : Knizhkovye vidavnitstvo NAU, 2005. – 653s.
6. Golyshev A.B. Soprotivleniye zhelezobeta: monografiya / A.B. Golyshev, V. I. Kolchunov. – K. : Osnova, 2009. – 432 s.
7. Golyshev, A. B. Teoriya i raschet zhelezobetonnykh sborno-monolitnykh konstruksiy s uchetom dlitel'nykh protsessov : monografiya / A. B. Golyshev, V. I. Kolchunov, I. A. Yakovenko ; pod red. d-ra tekhn. Nauk A. B. Golysheva. – K. : «Talkom», 2013. – 337 s.
8. Golyshev, A. B. Soprotivleniye zhelezobetonnykh konstruksiy, zdaniy i sooruzheniy, vozvodimyykh v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh: monografiya / A. B. Golyshev, V. I. Kolchunov, I. A. Yakovenko. – K. : «Talkom», 2015. – 371 s.
9. Metodika opredeleniya zhestkosti ploskonapryazhennykh i sterzhnevyykh zhelezobetonnykh sostavnykh konstruksiy pri seymicheskikh vozdeystviyakh / [Kolchunov V. I., Mar'yenkov N. G., Omel'chenko Ye. V. i dr.] // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. – M. : 2014. – №2. – S. 12–15.
10. Salnikov A., Kolchunov VI., Yakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending // Applied Mechanics and Materials. Vols. 725–726 (2015), pp 784–789.
11. Pavlíkov, A.M. Nelíníyna model' napruzhenno-deformovanogo stanu koso zavantazhenikh zalízobetonnikh yelementív u zakritichnýy stadií : monografiya / Andriy Mikolayovich Pavlíkov. – Poltava : PoltNTU ím. Yuriya Kondratyuka, 2007. – 259 s.
12. Bambura A. To assessment of bearing capacity and deformability of the reinforced concrete structures on the basis of material deformation real diagrams and deformation approach / Andriy Bambura, Oleksandr Gurkivskiy, Marianna Bezbozhna // fip Symposium “Keep Concrete Attractive”, Budapest 2005. – P. 742–747.

A. Dem'yanov

Southwest State University, Kursk

Candidate of Technical Sciences (PhD), assistant professor, doctoral student

E-mail: speccompany@gmail.com

VI. Kolchunov

Southwest State University, Kursk

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Industrial and Civil Engineering Department

E-mail: vlik52@mail.ru

D. Senchenko

Southwest State University, Kursk

bachelor's degree

E-mail: vlik52@mail.ru

A. Terskich

Southwest State University, Kursk

bachelor's degree

E-mail: vlik52@mail.ru

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВНЫХ ПЛАСТИН ТРАПЕЦИЕВИДНОГО ОЧЕРТАНИЯ, ЖЕСТКО ЗАЩЕМЛЕННЫХ И ШАРНИРНО ОПЕРТЫХ ПО КОНТУРУ

В статье рассматривается двухслойная изотропная составная пластина на податливых связях, для которой принята теория расчета составных пластин А.Р. Ржаницына. Целью исследования является определение во взаимосвязи динамических и статических параметров составных пластин с учетом податливости соединений их отдельных слоёв при различных граничных условиях. Разработана конечно-элементная расчетная схема составной двухслойной пластины. Вычисляется круговая частота основного тона ω и максимальный прогиб $W_{0 \max}$. Численное исследование было проведено на трапецевидной двухслойной пластине при жестком и шарнирном опирании пластины по контуру. Построены кривые зависимости изменения частот собственных колебаний и прогибов от статической нагрузки в зависимости от жесткости связей сдвига, изменение коэффициента K в зависимости от жесткости связей сдвига.

Ключевые слова: составная трапецевидная пластина, связи сдвига, круговая частота основного тона, максимальные прогибы.

Введение

Для пластин различного очертания установлена закономерность [1]:

$$(4/\pi)^2 \times q/m \geq W_0 \omega^2 \geq 4/\pi \times q/m; \quad (1)$$

Для пластинок одинаковой формы независимо от вида граничных условий произведение $W_0 \omega^2$ есть величина постоянная [2].

$$W_0 \omega^2 = const \quad (2)$$

Важной особенностью сформулированной выше закономерности является тот факт, что рассматриваемое в ней произведение $W_0 \omega^2$ не зависит от изгибной жесткости и размеров конструкций [3]. Если рассматриваемая закономерность окажется справедливой для составных пластин, то она позволит функционально связать прогибы и частоты колебаний этих пластин вне зависимости от их действительной изгибной жесткости и, следовательно, вне зависимости от коэффициента совместности работы отдельных слоев. Более того, появится возможность по частоте резонансных колебаний конструкции в ненагруженном состоянии интегрально оценить эти коэффициенты [4].

Численные исследования пластин

Численные исследования составных двухслойных пластин проводились методом конечных элементов [5]. Расчетные схемы составных пластинок приведены на рисунке 1. При расчете пластинок исследовались две схемы опирания пластинки [6]: жесткое защемление по контуру (рисунок 1,а) и шарнирное опирание по контуру (рисунок 1,б).

Расстояние между слоями принималось расстоянию между центрами тяжести слоев. В расчетной схеме принято 1269 конечных элементов связей сдвига и 572 конечных элемента поперечных связей. Каждый слой был разбит на 572 КЭ. Все исследования проводились на трапецевидных пластинках с одинаковой стороной основания $a=1200$ мм и высотой $h=900$ мм и с различными углами при основании (рисунок 2).

В качестве пластин приняты древесно-стружечные плиты объемным весом 740 кг/м³. Модули упругости принимались $E = 2600$ МПа (по техническим условиям на древесно-

стружечные плиты), для стали – $E_{ст} = 206000$ МПа. Все исследования проводились в предположении упругой работы материала слоев, вертикальных связей и связей сдвига [7].



Рисунок 1 – Расчетные схемы составных пластинок а) с жестким и б) шарнирным закреплением

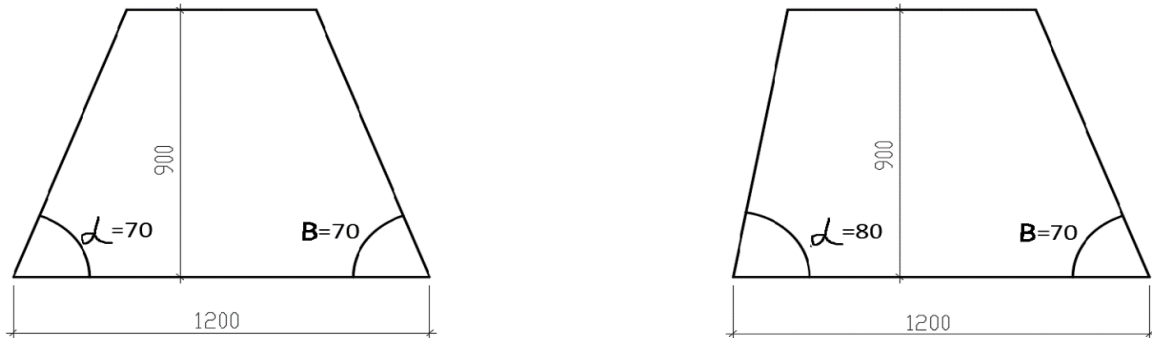


Рисунок 2 – Аффинные преобразования расчётных пластин

С помощью программного комплекса «SCAD» были определены частоты и прогибы пластины. Для этого в узлы конструкции прикладывались сосредоточенные массы от собственного веса слоев, при этом равномерно распределенная нагрузка принималась $q = 1$ кН/м². Жесткость поперечных связей принималась соответствующей стальному нагелю диаметром 2 мм и при исследованиях оставалась постоянной. Жесткость связей сдвига $E_{сд}$ для всех пластин изменялась в пределах от 10^{-1} до 10^5 кН [8].

Результаты численных исследований составной пластинки, шарнирно опертой по контуру приведены в таблицах 1 и 2. По данным таблиц 1 и 2 построены графики изменения круговой частоты основного тона собственных поперечных колебаний ω и прогибов от статической нагрузки W_0 (рисунки 3 и 5), а также графики изменения коэффициента K (рисунки 4 и 6).

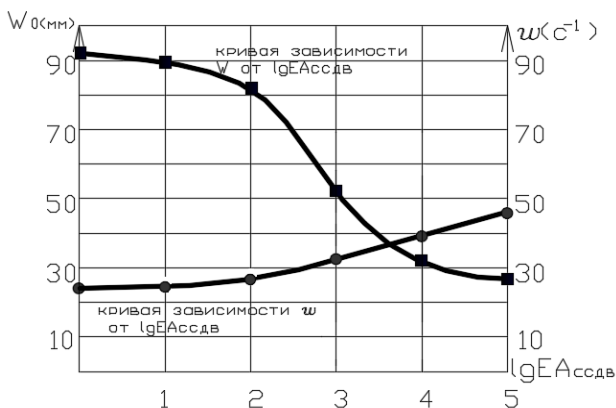


Рисунок 3 – Изменение частот собственных колебаний и прогибов от статической нагрузки в зависимости от жесткости связей сдвига трапециевидной пластинки шарнирно опертой с $\alpha = 70^\circ$

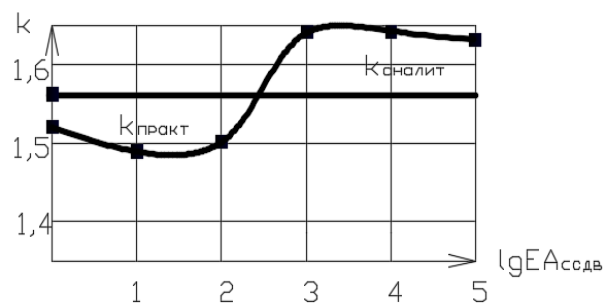


Рисунок 4 – Изменение коэффициента k в зависимости от жесткости связей сдвига трапециевидной пластинки шарнирно опертой с $\alpha = 70^\circ$

Таблица 1– Результаты численных исследований составной пластины размером $a = 1200$ мм, $h=900$ мм, $\alpha = 70^0$, $B=70^0$, шарнирно опертой по контуру

№ п/п	$lgEA_{сдв}$	круговая частота основного тона, ω (c^{-1})	Максимальный прогиб, W_0 max (мм)	Круговая частота основного тона, вычисленная аналитическим методом, ω (c^{-1})	Максимальный прогиб вычис- ленный анали- тическим мето- дом, W_0 max (мм)	$K=W_0 \omega^2/(q/m)$	$K=W_0 \omega^2/(q/m)$ на основе анали- тических W_0 и ω	отклонение K от $K_{аналит}$ %
1	0	23,21583	94,2244	23,226	93,215	1,52138	1,575	3,524461
2	1	23,44922	90,53866			1,491409		5,604864
3	2	24,49466	83,81647			1,506531		4,544837
4	3	32,39118	52,43051			1,647948		-4,42657
5	4	39,88108	34,76507			1,656467		-4,9181
6	5	43,29493	29,1768	46,715	21,57	1,638391		-3,86909

Таблица 2– Результаты численных исследований составной пластины размером $a = 1200$ мм, $h=900$ мм, $\alpha = 80^0$, $B=70^0$, шарнирно опертой по контуру

№ п/п	$lgEA_{сдв}$	круговая частота основного тона, ω (c^{-1})	Максимальный прогиб, W_0 max (мм)	Круговая частота основного тона, вычисленная аналитическим методом, ω (c^{-1})	Максимальный прогиб вычис- ленный анали- тическим мето- дом, W_0 max (мм)	$K=W_0 \omega^2/(q/m)$	$K=W_0 \omega^2/(q/m)$ на основе анали- тических W_0 и ω	отклонение k от $K_{аналит}$ %
1	0	25,8256	83,23134	25,132	82,421	1,663004	1,571	-5,53241
2	1	26,08486	81,91457			1,669721		-5,91241
3	2	27,67767	71,22699			1,634592		-3,8904
4	3	33,45648	48,10013			1,612919		-2,59894
5	4	37,95473	35,91239			1,549822		1,366474
6	5	39,33988	33,95658	37,952	33,547	1,57433		-0,2115

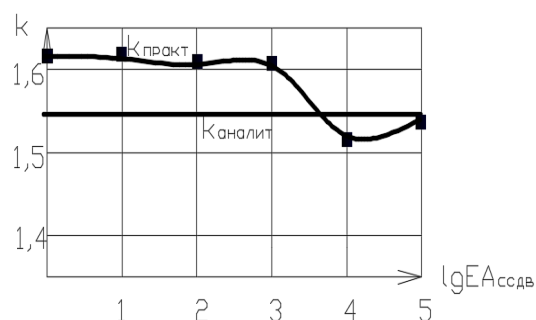
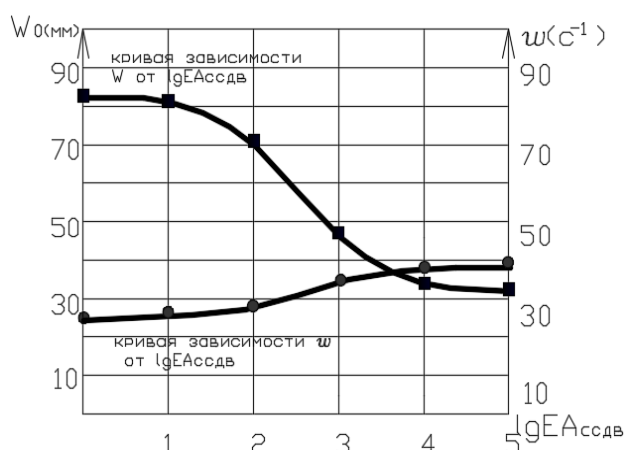


Рисунок 5 – Изменение частот собственных колебаний и прогибов от статической нагрузки в зависимости от жесткости связей сдвига пластины шарнирно опертой с $\alpha = 80^0$

Рисунок 6 – Изменение коэффициента k в зависимости от жесткости связей сдвига трапецевидной пластины шарнирно опертой с $\alpha = 80^0$

Анализируя результаты можно сделать выводы, что коэффициенты K , полученные численным методом отличаются в пределах от $-5,91$ до $+5,6\%$ от аналитического значения.

Результаты численных исследований составной пластинки, жёстко защемлённой по контуру, приведены в таблицах 3 и 4. По данным таблиц 3 и 4 построены графики изменения круговой частоты основного тона собственных поперечных колебаний ω и прогибов от статической нагрузки W_0 (рисунки 7 и 9), а также графики изменения коэффициента K (рисунки 8 и 10).

Таблица 3– Результаты численных исследований составной пластины размером $a = 1200$ мм, $h=900$ мм, $\alpha = 70^\circ$, $B=70^\circ$, жестко защемленной по контуру

№ опирания	$IgEA_{слв}$	Кругловая частота основного тона, ω (c^{-1})	Максимальный прогиб, W_0 max (мм)	Кругловая частота основного тона, вычисленная аналитическим методом, ω (c^{-1})	Максимальный прогиб вычисленный аналитическим методом, W_0 max (мм)	$K=W_0 \omega^2/(q/m)$	$K=W_0 \omega^2/(q/m)$ на основе аналитических W и ω	Отклонение K от $K_{аналит}$ %
1	0	27,28006	92,09301	27,143	92,911	1,638954	1,553	-5,24447
2	1	27,52914	90,00996			1,631269		-4,79802
3	2	29,72354	73,92249			1,561807		-0,56387
4	3	47,94007	28,86291			1,586306		-2,0996
5	4	62,61591	17,13878			1,606936		-3,35648
6	5	75,80864	11,32643	73,472		11,147		1,55661

Таблица 4– Результаты численных исследований составной пластины размером $a = 1200$ мм, $h=900$ мм, $\alpha = 80^\circ$, $B=70^\circ$, жестко защемленной по контуру

№ опирания	$IgEA_{слв}$	Кругловая частота основного тона, ω (c^{-1})	Максимальный прогиб, W_0 max (мм)	Кругловая частота основного тона, вычисленная аналитическим методом, ω (c^{-1})	Максимальный прогиб вычисленный аналитическим методом, W_0 max (мм)	$K=W_0 \omega^2/(q/m)$	$K=W_0 \omega^2/(q/m)$ на основе аналитических W и ω	Отклонение K от $K_{аналит}$ %
1	0	25,47029	78,02725	26,178	75,652	1,516421	1,587	4,654312
2	1	26,37833	72,05627			1,502008		5,658584
3	2	27,83178	68,83436			1,597323		-0,64629
4	3	44,73023	26,19914			1,570345		1,060619
5	4	58,34418	15,1058			1,540439		3,02258
6	5	73,8645	9,80618	73,425		9,124		1,602792

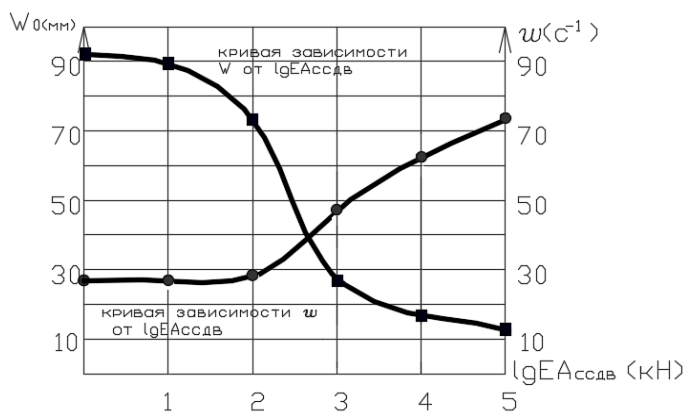


Рисунок 7 – Изменение частот собственных колебаний и прогибов от статической нагрузки в зависимости от жесткости связей сдвига трапециевидной пластины жестко защемленной по контуру с $\alpha = 70^\circ$

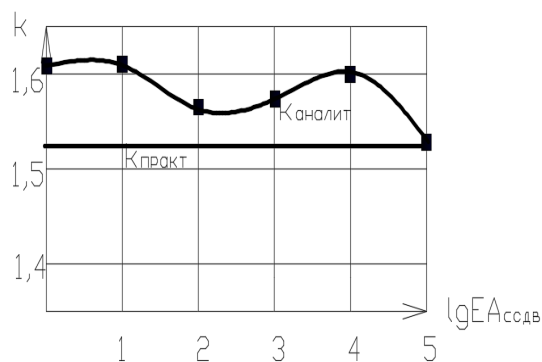


Рисунок 8 – Изменение коэффициента k в зависимости от жесткости связей сдвига трапециевидной пластины жестко защемленной по контуру с $\alpha = 70^\circ$

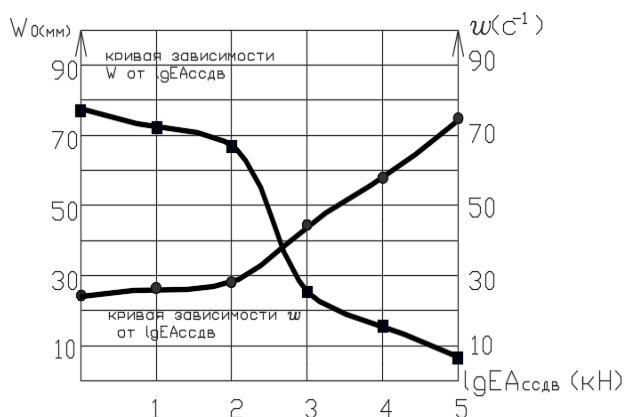


Рисунок 9 – Изменение частот собственных колебаний и прогибов от статической нагрузки в зависимости от жесткости связей сдвига трапециевидной пластины жестко защемленной по контуру с $\alpha = 80^\circ$

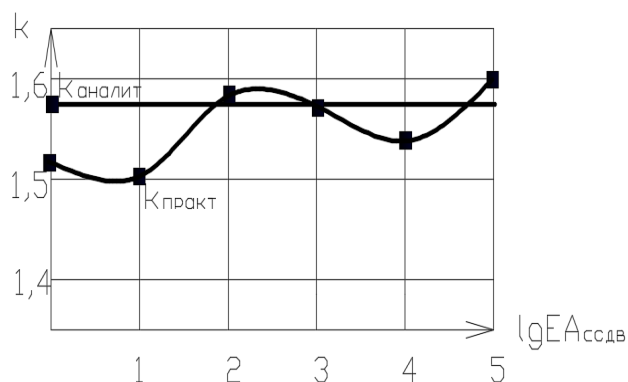


Рисунок 10 – Изменение коэффициента k в зависимости от жесткости связей сдвига трапециевидной пластины жестко защемленной по контуру с $\alpha = 80^\circ$

Выводы

Анализируя результаты исследований можно сделать выводы, что коэффициенты K , полученные численным, методом отличаются в пределах от -5,2 до +5,6% от аналитического значения [9].

Коэффициент K связан функциональной зависимости между максимальными прогибами и собственной частотой колебаний, полученной проф. В.И. Коробко, для сплошных изотропных трапециевидных пластин [10], изменяется в пределах от -5,9% до +5,6% от аналитического значения, что позволяет использовать данную зависимость для составных пластин на податливых связях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробко, В.И. Об одной "замечательной" закономерности в теории упругих пластинок [Текст] / В. И. Коробко. // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1989. – № 11. – С. 32-36.

2. Турков, А.В. Определение коэффициента жесткости шва круглой составной изотропной пластины по её основной частоте колебаний [Текст] / А.В. Турков, К.В. Марфин // Строительная механика и расчет сооружений. – М.: 2013. – №4. – С. 58-62.
3. Карпова Е. В. Численные исследования составных пластин треугольного очертания, жестко защемленных и шарнирно опертых по контуру [Текст] / Е.В. Карпова // Наука и образование – №6(13). – 2015. – С. 4-10.
4. Карпова Е. В. Численные исследования составных пластин треугольного очертания при различных условиях опирания [Текст] / А.В. Турков, Е.В. Карпова // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Строительная наука XXI век». – 2015. – С. 378-391.
5. Линьков, Н.В. Расчет деревянных балок составного сечения на соединениях с применением композиционного материала по теории составных стержней А. Р. Ржаницына [Текст] / Н.В. Линьков // Промышленное и гражданское строительство. – М.: 2013. – №4. – С. 23-24.
6. Ржаницын, А.Р. Составные стержни и пластинки [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1986. – 316 с.
7. Турков, А.В. Исследование коэффициента жёсткости шва для треугольной составной изотропной пластины в зависимости от её основной частоты колебаний при разной жёсткости связей сдвига [Текст] / А.В. Турков, Е.В. Карпова // Строительная механика и расчет сооружений. – М.: 2015. – №2. – С. 66-69.
8. Турков, А.В. Исследование прогибов и частот собственных колебаний составных круглых трансформных пластин [Текст] / А.В. Турков, К.В. Марфин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – Архангельск, 2013. – №4. – С. 66-71
9. Карпова Е. В. Прогибы и частоты собственных колебаний составных ромбических изотропных пластин жестко защемленных по контуру при изменении жесткости связей сдвига [Текст] / Е.В. Карпова, Н. С. Абашина // Сборник трудов VII международной научно-технической конференции «Строительная наука XXI век». – 2016. – С. 102-107.
10. Карпова, Е.В. Исследование коэффициента жёсткости шва составных треугольных изотропных пластин в зависимости от количества симметрично расположенных связей сдвига [Текст] / А.В. Турков, Е.В. Карпова // Сборник трудов Восемнадцатой Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2015. – С. 238-242.

Карпова Екатерина Вячеславовна

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева»,
Архитектурно-строительный институт, г. Орел
Аспирантка, ст. преподаватель кафедры «Городское строительство и хозяйство»
E-mail: karпова.gsh@rambler.ru

E. KARPOVA

**NUMERICAL ANALYSIS OF COMPOSITE TRAPEZOIDAL PLATES,
WHICH ARE CLAMPED OR SIMPLY SUPPORTED
ALONG THE CONTOUR**

The article discusses the isotropic two-layer composite plate on compliant bonds, for which the accepted theory for calculating composite plates AR Rzhantsina. The aim of the study is to determine the relationship of the dynamic and static parameters of composite plates taking into account the compliance of the compounds of individual layers with different boundary conditions. A finite element calculation scheme of two-layer composite plate. Calculate the angular frequency ω of the pitch and the maximum deflection $W_{o\ max}$. Numerical study was conducted on a triangular plate with a two-layer hard and hinged support plate on the contour. Built curves change of natural frequencies and deflections from static load, depending on the stiffness of the shear, the change factor k depending on the stiffness of the shear.

Keywords: *a composite trapezoidal plate, the angular frequency of the fundamental tone, the maximum deflection.*

BIBLIOGRAPHY

1. Korobko, V.I. Ob odnoy "zamechatel'noy" zakonomernosti v teorii uprugikh plastinok [Tekst] / V. I. Korobko. // Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura. – 1989. – № 11. – S. 32-36.

2. Turkov, A.V. Opredeleniye koeffitsiyenta zhestkosti shva krugloy sostavnoy izotropnoy plastiny po yeyo osnovnoy chastote kolebaniy [Tekst] / A.V. Turkov, K.V. Marfin //Stroitel'naya mekhanika i raschet sooru-zheniy.– M.:2013. – №4. – S. 58-62.
3. Karpova Ye. V. Chislennyye issledovaniya sostavnykh plastin treugol'nogo ochertaniya, zhestko zashchemlennykh i sharnirno opertykh po konturu [Tekst] / Ye.V. Karpova//Nauka i obrazovaniye –№6(13). -2015.– S. 4-10.
4. Karpova Ye. V. Chislennyye issledovaniya sostavnykh plastin treugol'nogo ochertaniya pri razlichnykh usloviyakh opiraniya [Tekst] / A.V. Turkov, Ye.V. Karpova//Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Stroitel'naya nauka XXI vek» . -2015.– S. 378-391.
5. Lin'kov, N.V. Raschet derevyannykh balok sostavnogo secheniya na soyedineniyakh s primeneniym kompozi-tsionnogo materiala po teorii sostavnykh sterzhney A. R. Rzhantsyna [Tekst] / N.V. Lin'kov // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. – M.: 2013. – №4. – S. 23–24.
6. Rzhantsyn, A.R. Sostavnyye sterzhni i plastinki [Tekst] / A.R. Rzhantsyn. – M.: Stroyizdat, 1986. – 316 s.
7. Turkov, A.V. Issledovaniye koeffitsiyenta zhostkosti shva dlya treugol'noy sostavnoy izotropnoy plastiny v zavisimosti ot yeyo osnovnoy chastoty kolebaniy pri raznoy zhostkosti svyazey sdviga [Tekst] / A.V. Turkov, Ye.V. Karpova//Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy.– M.:2015. – №2. – S. 66-69.
8. Turkov, A.V. Issledovaniye progibov i chastot sobstvennykh kolebaniy sostavnykh kruglykh tran-stropnykh plastin [Tekst] / A.V. Turkov, K.V. Marfin //Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal.– Arkhangel'sk, 2013. – №4. – S. 66-71
9. Karpova Ye. V. Progiby i chastoty sobstvennykh kolebaniy sostavnykh rombicheskikh izotropnykh pla-stin zhestko zashchemlennykh po konturu pri izmenenii zhestkosti svyazey sdviga [Tekst] / Ye.V. Karpova, N. S. Abashina//Sbornik trudovVII mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Stroitel'naya nauka XXI vek» . -2016.– S. 102-107.
10. Karpova, Ye.V. Issledovaniye koeffitsiyenta zhostkosti shva sostavnykh treugol'nykh izotropnykh pla-stin v zavisimosti ot kolichestva simmetrichno raspolozhennykh svyazey sdviga [Tekst] / A.V. Turkov, Ye.V. Karpova//Sbornik trudov Vosemnadsatoy Mezhdunarodnoy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. -2015.– S. 238-242.

E. Karpova

Orel State University named after. I. S. Turgenev, Architectural Engineering Institute, Orel
Graduate student, senior lecturer of the department "Urban Construction and Management"
E-mail: karpova.gsh@rambler.ru

УДК 624.04

КИРСАНОВ М.Н.

ИНДУКТИВНЫЙ ВЫВОД ФОРМУЛ ДЛЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПЛОСКОЙ РЕШЕТЧАТОЙ ФЕРМЫ

Рассмотрена схема статически определимой фермы с двойной раскосной решеткой и четырьмя внешними связями: двумя подвижными шарнирными опорами и одной неподвижной. Приведен вывод аналитической зависимости прогиба фермы от ее размеров, нагрузки и числа панелей. Анализируется несимметричная форма нижнего пояса, деформированного под действием приложенной к узлам верхнего пояса нагрузки. Учитывается неравномерность распределения материала по стержням поясов и решетки. Найден асимптотические свойства решения. Использована программа, написанная в системе компьютерной математики Maple и метод индукции для обобщения решений. Совпадение формы решения для ферм с различным числом панелей позволяет выписать последовательность коэффициентов при соответствующих геометрических параметрах фермы. Показано, что члены последовательности коэффициентов решения удовлетворяют рекуррентному уравнению, решение которого дает искомую зависимость.

Ключевые слова: Ферма, прогиб, индукция, Maple, аналитическое решение

Число схем статически определимых ферм с регулярной структурой невелико. Поиск таких схем (в [1] это названо "охотой") связан с тем, что для этих ферм возможно получение точного аналитического решения для усилий в стержнях и прогиба характерной точки в зависимости от числа панелей. Обзоры некоторых работ в этом направлении содержатся в [2-4]. Одна из схем, обладающая свойством регулярности, представлена на рисунке 1. Ее особенностью является наличие *четырёх* внешних связей и крестообразной двойной решетки. Обозначим каждую такую крестообразную часть (ячейку периодичности конструкции) как одну условную панель. Рассмотрим нагружение фермы в узлах верхнего пояса. Ставится задача вывода аналитической зависимости прогиба фермы в середине пролета от числа панелей. В данной конструкции независимо от числа панелей нет узла в точности находящегося в середине пролета, поэтому рассмотрим прогиб в узле с номером $n+1$, принимая нумерацию узлов слева направо сначала по нижнему, затем по верхнему поясу.

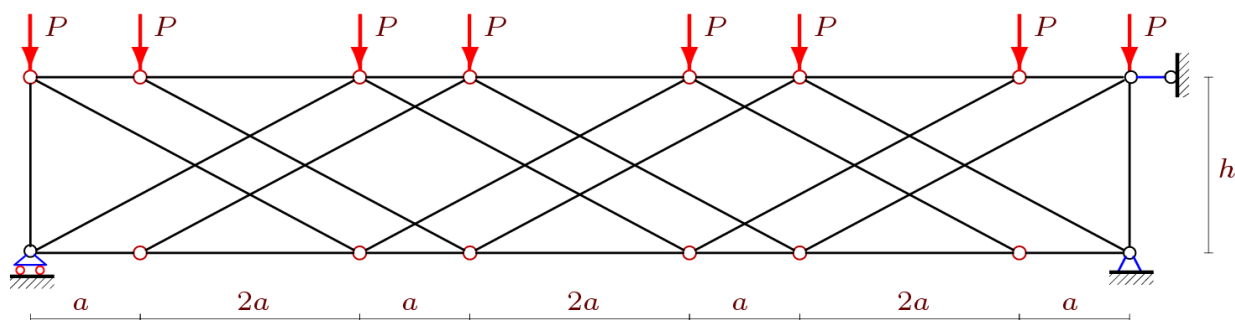


Рисунок 1 – Ферма, $n=3$

В ферме с n панелями содержится $4n+4$ шарниров и $m=8n+8$ стержней (включая четыре опорные стержня). Используя программу [5], составленную для системы компьютерной математики Maple, методом вырезания узлов определим усилия в стержнях. Для этого сначала

ла по координатам узлов (начало координат в левом подвижном шарнире) составляется матрица направляющих косинусов. Имеем следующие координаты:

$$\begin{aligned} x_{2i-1} &= 3a(i-1), \quad y_{2i-1} = 0, \\ x_{2i} &= x_{2i-1} + a, \quad y_{2i} = 0, \quad i = 1, \dots, n+1, \\ x_{i+2n+2} &= x_i, \quad y_{i+2n+2} = h, \quad i = 1, \dots, 2n+2. \end{aligned}$$

Структуру соединения шарниров и стержней представим некоторыми условными векторами \bar{V} , аналогично тому, как списком ребер задается граф в дискретной математике [6]. Первая компонента вектора — номер одного шарнира стержня, вторая — другого. Стержни поясов представлены векторами: $\bar{V}_i = [i, i+1]$, $\bar{V}_{i+2n+1} = [i+2n+2, i+2n+3]$; $i=1, \dots, 2n+1$. Раскосам соответствуют векторы: $\bar{V}_{i+4n+2} = [i, i+2n+4]$; $\bar{V}_{i+6n+2} = [i+2, i+2n+2]$, $i = 1, \dots, 2n$. Две боковые стойки заданы векторами $\bar{V}_{8n+3} = [1, 2n+3]$, $\bar{V}_{8n+4} = [2n+2, 4n+4]$. Вектор опорного стержня, моделирующего левую подвижную опору, имеет вид: $\bar{V}_{m-3} = [1, 4n+5]$, неподвижную опору — $\bar{V}_{m-2} = [2n+2, 4n+6]$ и $\bar{V}_{m-1} = [2n+2, 4n+7]$. Дополнительный горизонтальный опорный стержень — $\bar{V}_m = [4n+4, 4n+8]$.

В уравнения проекций метода вырезания узлов входят направляющие косинусы стержней-векторов: $G_{2V_{i,1-1,i}} = l_{x,i} / l_i$, $G_{2V_{i,2-1,i}} = -l_{x,i} / l_i$, $G_{2V_{i,2,i}} = -l_{y,i} / l_i$, где $l_{x,i} = x_{V_{i,1}} - x_{V_{i,2}}$, $l_{y,i} = y_{V_{i,1}} - y_{V_{i,2}}$, $l_i = \sqrt{l_{x,i}^2 + l_{y,i}^2}$. Из решения (в аналитической форме) системы уравнений равновесия узлов $G\bar{S} = \bar{B}$ с известной правой частью действующих нагрузок определяем выражения для усилий в стержнях.

Решение

Прогиб определяем по формуле Максвелла – Мора

$$\Delta = \sum_{i=1}^{m-4} \frac{S_i s_i l_i}{EF_i},$$

где S_i — усилие в стержне i от действия внешней нагрузки;

s_i — усилие в стержне i от действия вертикальной единичной силы, приложенной к шарниру нижнего пояса ближайшему к середине пролета с номером $n+1$, где определяется прогиб;

EF_i — продольная жесткость стержней;

l_i — их длины. Суммирование ведется по всем стержням, кроме четырех опорных (они приняты недеформируемыми). Рассмотрим случай разных сечений стержней. Выделим три группы стержней, выразив площади их сечений через некоторую заданную F . Стержни верхнего и нижнего поясов длиной a с сечениями $F_1 = F/\gamma_1$; стойки длиной h и площадью $F_2 = F/\gamma_2$; и раскосы длиной $c = \sqrt{9a^2 + h^2}$ и площадью $F_3 = F/\gamma_3$. В результате оказывается, что для любого числа панелей n , решение имеет один и тот же вид

$$\Delta_n = P \frac{A_n \gamma_1 a^3 + H_n \gamma_2 h^3 + C_n \gamma_3 c^3}{h^2 EF}, \quad (1)$$

где коэффициенты A_n, H_n, C_n зависят только от n и могут быть получены методом индукции. Для определения общих членов последовательностей коэффициентов применим операторы

rgf_findrecur и rsolve системы Maple [5]. В данной задаче требуется анализ решений от 28 ферм с последовательно увеличивающимся числом n . Для коэффициента A_n найдем рекуррентное уравнение (оператор rgf_findrecur)

$$A_n = 3A_{n-2} - A_{n-4} - 5A_{n-6} + 5A_{n-8} + A_{n-10} - 3A_{n-12} + A_{n-14}.$$

Это уравнение имеет решение (оператор rsolve):

$$A_n = (18(8(-1)^n + 5)n^4 + 24(9(-1)^n + 2)n^3 + 90((-1)^n - 1)n^2 - 12(24\text{sn}(n) + 3(-1)^n + 1 + 12\text{cs}(n))n + 432\text{cs}(n) - 720\text{sn}(n) - 387 - 45(-1)^n) / 64,$$

где для сокращения записи введены обозначения для функций $\text{cs}(n) = \cos(n\pi / 2)$, $\text{sn}(n) = \sin(n\pi / 2)$. Аналогично получаем и другие коэффициенты:

$$H_n = (2(1 - \text{cs}(n) + \text{sn}(n))n + 3 + (-1)^n - 4\text{cs}(n) + 2\text{sn}(n)) / 8,$$

$$C_n = (6n^2 + 2(3 - (-1)^n - 2\text{cs}(n) - 2\text{sn}(n))n - (-1)^n + 4\text{cs}(n) - 8\text{sn}(n) - 3) / 32.$$

Анализ прогиба

Пусть задана суммарная нагрузка на ферму $\tilde{P} = 2(n+1)P$ и длина ее пролета $L = (3n+1)a$. Рассмотрим случай уменьшенных площадей сечения стержней решетки: $\gamma_1=1, \gamma_2=2, \gamma_3=4$. Обозначим безразмерный прогиб фермы: $\Delta' = \Delta EF / (\tilde{P}L)$. Кривые зависимости прогиба (1) при разной высоте h (в метрах) изображены на рисунке 2 при $L=40\text{м}$.

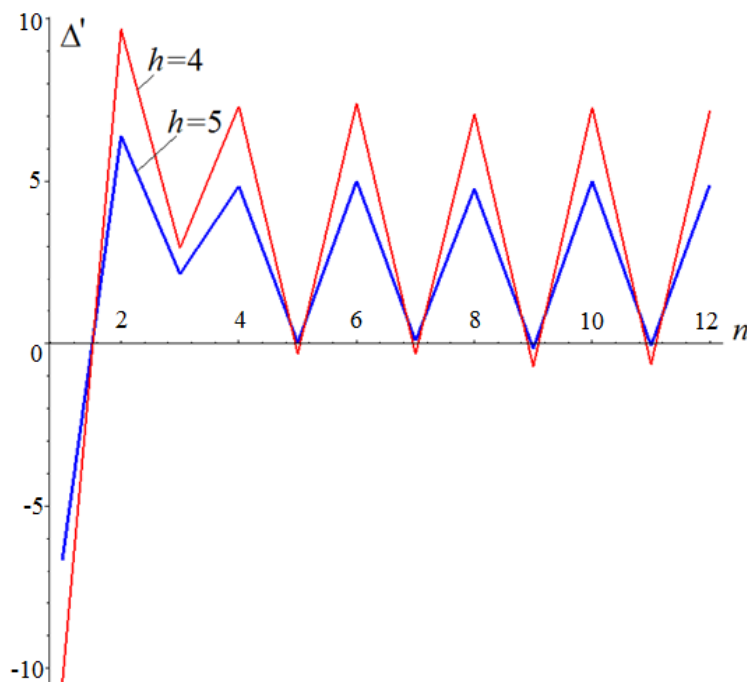


Рисунок 2 – Прогиб в зависимости от числа панелей

Кривые обнаруживают заметную пульсацию прогиба в зависимости от числа панелей. Для некоторых значений прогиб даже меняет знак, т.е. под действием нагрузки узел не опускается, а поднимается. Как меняется прогиб при больших n — растет или убывает, из графика не видно. Ясность дает следующий предел: $\lim_{n \rightarrow \infty} \Delta' / n = 3\gamma_3 h / (32L)$, вычисленный в

рамках поставленных условий (нагрузка и длина пролета от числа панелей не зависят). Предел показывает, что если есть рост прогиба, то он весьма мал, так как мало и отношение h/L . Кроме того, становится ясно, что на результат не влияют площади сечений поясов и стоек, характеризуемые коэффициентами γ_1 и γ_2 . Из того факта, что узел в некоторых случаях может не опускаться под нагрузкой (что было бы естественно), а подниматься, следует, что возможно линия изгиба нижнего пояса в ферме будет ломаной. Это подтверждается численным расчетом при $n=4$, $a=1$ м. На рисунке 3 приведены значения прогиба $\tilde{\Delta} = \Delta_{EF} / (PL)$ фермы при $h=4$ м и $h=6$ м в узлах нижнего пояса. Характерна, но несколько неожиданна, асимметрия кривой, смещенной в правую сторону, где ферма крепится на три опорные стержня. Зависимость же от высоты фермы h вполне закономерна — с увеличением высоты ферма становится жестче.

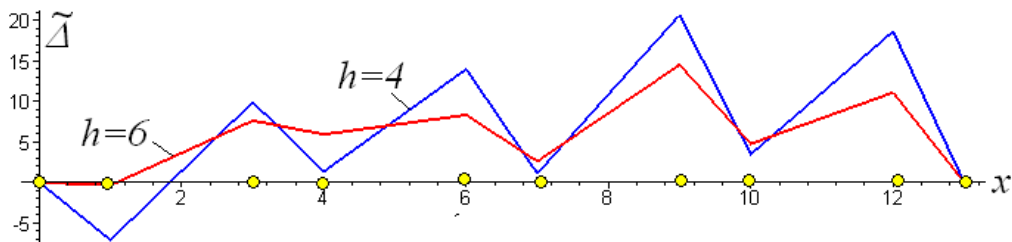


Рисунок 3 – Прогиб в узлах нижнего пояса ($\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 1$)

Анализ усилий в стержнях

Методом индукции получим выражения для усилий в наиболее сжатых и растянутых стержнях верхнего и нижнего пояса. В середине нижнего пролета стержень растянут, усилие в нем имеет вид:

$$S_{n+1} = (3(-1)^n (1 + 2n) - 12(cs(n) - sn(n)) + 6n^2 + 6n + 9) / 8 .$$

Усилие в сжатом стержне середины верхнего пояса:

$$S_{3n+2} = -(3(-1)^n (1 + 2n) + 12(cs(n) - sn(n)) + 6n^2 + 6n - 15) / 8 .$$

За счет слагаемых, содержащих функции $cs(n)$, $sn(n)$ и $(-1)^n$, зависимость усилий в этих стержнях от числа панелей немонотонна, точно так же, как немонотонна найденная зависимость прогиба. При $n=1$ стержень в верхнем поясе оказывается даже растянутым. Все эти замечания лишний раз показывают важность аналитического исследования конструкции.

Выводы

Использование математического пакета Maple и метода индукции позволило получить аналитическое решение для прогиба фермы и выражения для усилий в некоторых критических стержнях. Описанная методика может быть применена и для других регулярных конструкций, где требуется не только найти численное решение, но и провести его анализ в символьной форме. Как тестовое это решение полезно для практических инженеров, использующих как новые, так и известные программные комплексы, основанные на численных методах, в том числе и на методе конечных элементов. Полученное решение позволяет также подобрать оптимальные размеры фермы, площади сечений и число панелей. В [7–9] методом индукции получены аналитические выражения для линий влияния плоских ферм, в [10–16] — выведены формулы для прогиба решетчатых ферм. Отметим, что полученное в настоящей работе решение по сравнению с известными существенно сложнее по форме. Обычно аналитические решения имеют коэффициенты с двумя – тремя слагаемыми, зависящими от числа

панелей, в то время как в (1) коэффициент A_n имеет 14 слагаемых и получается в результате обобщения 28 решений (в известных решениях — не более 24).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hutchinson R. G., Fleck N. A. Microarchitected cellular solids – the hunt for statically determinate periodic trusses // ZAMM Z. Angew. Math. Mech. 2005. 85, No. 9. pp. 607 – 617.
2. Кийко Л. К. Аналитическая оценка прогиба арочной фермы под действием ветровой нагрузки// Научный вестник. 2016. № 1 (7). С. 247—254.
3. Тиньков Д. В. Сравнительный анализ аналитических решений задачи о прогибе ферменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2015. №5(57). С. 66—73.
4. Тиньков Д. В. Анализ точных решений прогиба регулярных шарнирно-стержневых конструкций // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. №6. С. 21–28.
5. Кирсанов М. Н. Maple и MapleT. Решение задач механики. СПб.: Изд-во Лань, 2012. 512 с.
6. Кирсанов М.Н. Графы в Maple. М.:ФИЗМАТЛИТ, 2007. 168 с.
7. Al-Shahrabi A. M. , Kirsanov M.N. Line of influence of the deflection for cantilever truss // Вестник научных конференций. 2016. № 2-1(6). С. 6—7.
8. Dong X. , Kirsanov M.N. The dependence of the deflection of the truss from the position of the load for an arbitrary number of panels //Вестник научных конференций. 2016. № 1–4 (5). С. 6—7.
9. Jiang H., Kirsanov M.N. An analytical expression for the influence line of the truss // Вестник научных конференций. 2016. № 1–5(5). С. 10—11.
10. Ахмедова Е.Р. Аналитический расчет прогиба плоской фермы со шпренгельной решеткой// Trends in Applied Mechanics and Mechatronics. М: Инфра-М. Т. 1. С. 62–65.
11. Кирсанов М.Н. Расчет жесткости стержневой решетки// Вестник машиностроения. 2015. № 8. С. 49–51.
12. Кирсанов М.Н. Анализ прогиба решетчатой балочной фермы распорного типа // Инженерно-строительный журнал. 2015. №5(57). С. 58–65.
13. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет балочной фермы со сложной решеткой// Строительная механика и расчет сооружений. 2015. № 3(260). С. 7–12.
14. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет прогиба плоской решетчатой фермы треугольного очертания// Trends in Applied Mechanics and Mechatronics. М: Инфра-М.2015. Т. 1. С. 28-30.
15. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет решетчатой фермы // Моделирование и механика конструкций. 2015. № 2 (2). С. 5.
16. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет многорешетчатой фермы // Строительная механика и расчет сооружений. 2014. № 6 (257). С. 2–6.

Кирсанов Михаил Николаевич

Национальный исследовательский университет "МЭИ", Москва
Доктор физико-математических наук, профессор
E-mail: c216@ya.ru

M. KIRSANOV

INDUCTIVE DERIVATION OF THE FORMULAS FOR DEFORMATIONS OF FLAT LATTICE TRUSSES

A scheme for statically determinate truss with dual diagonal grille and four external connections, two movable hinged legs and one stationary is investigated. Obtained the derivation of the analytic dependence of deflection of the truss from its size, load and number of panels. Analyzed the asymmetric form of the lower belt, that deformed under the action of distributed on the nodes of the upper belt load. Take into account the uneven distribution of material on the rods of belts and grid. Found asymptotic properties of the solution. Program written in the computer mathematics system Maple and the method of induction to generalize solutions are used. The coincidence of the solutions for trusses with different numbers of panels allows us to write the sequence of coefficients of the relevant geometric parameters of the truss. It is shown that the members of the sequence of coefficients of the solutions satisfy the recursive equation whose solution gives the sought dependence.

Keywords: Truss, deflection, induction, Maple, analytical solution

BIBLIOGRAPHY

1. Hutchinson R. G., Fleck N. A. Microarchitected cellular solids – the hunt for statically determinate periodic trusses // *ZAMM Z. Angew. Math. Mech.* 2005. 85, No. 9. pp. 607 – 617.
2. Kiyko L. K. Analiticheskaya otsenka progiba arochnoy fermy pod deystviyem vetrovoy nagruzki // *Nauchnyy vestnik.* 2016. № 1 (7). S. 247—254.
3. Tin'kov D. V. Sravnitel'nyy analiz analiticheskikh resheniy zadachi o progibe fermennykh konstruksiy // *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal.* 2015. №5(57). S. 66—73.
4. Tin'kov D. V. Analiz tochnykh resheniy progiba regul'yarnykh sharnirno-sterzhnevyykh konstruksiy // *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy.* 2015. №6. S. 21–28.
5. Kirsanov M. N. Maple i Maplet. Resheniye zadach mekhaniki. SPb.: Izd-vo Lan', 2012. 512 s.
6. Kirsanov M.N. Grafy v Maple. M.:FIZMATLIT, 2007. 168 s.
7. Al-Shahrabi A. M. , Kirsanov M.N. Line of influence of the deflection for cantilever truss // *Vestnik nauchnykh konferentsiy.* 2016. № 2-1(6). S. 6—7.
8. Dong X. , Kirsanov M.N. The dependence of the deflection of the truss from the position of the load for an arbitrary number of panels // *Vestnik nauchnykh konferentsiy.* 2016. № 1–4 (5). S. 6—7.
9. Jiang H., Kirsanov M.N. An analytical expression for the influence line of the truss // *Vestnik nauchnykh konferentsiy.* 2016. № 1–5(5). S. 10—11.
10. Akhmedova Ye.R. Analiticheskiy raschet progiba ploskoy fermy so shpengel'noy reshetkoy // *Trends in Applied Mechanics and Mechatronics.* M: Infra-M. T. 1. S. 62–65.
11. Kirsanov M.N. Raschet zhestkosti sterzhnevoy reshetki // *Vestnik mashinostroyeniya.* 2015. № 8. S. 49–51.
12. Kirsanov M.N. Analiz progiba reshetchatoy balochnoy fermy raspornogo tipa // *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal.* 2015. №5(57). S. 58–65.
13. Kirsanov M.N. Analiticheskiy raschet balochnoy fermy so slozhnoy reshetkoy // *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy.* 2015. № 3(260). S. 7–12.
14. Kirsanov M.N. Analiticheskiy raschet progiba ploskoy reshetchatoy fermy treugol'nogo ochertaniya // *Trends in Applied Mechanics and Mechatronics.* M: Infra-M.2015. T. 1. S. 28-30.
15. Kirsanov M.N. Analiticheskiy raschet reshetchatoy fermy // *Modelirovaniye i mekhanika konstruksiy.* 2015. № 2 (2). S. 5.
16. Kirsanov M.N. Analiticheskiy raschet mnogoreshetchatoy fermy // *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy.* 2014. № 6 (257). S. 2–6.

M. Kirsanov

National Research University "MPEI", Moscow
Dr. Sci (Math.), professor
E-mail: c216@ya.ru

УДК 624.04

МАЛИНИН В.Г., МУССАУИ Ю.Ю., БУРДИН Ю.А.

ВОПРОСЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассматриваются вопросы практического применения материалов, обладающих эффектом памяти формы для усиления строительных конструкций, на основе имеющегося опыта усиления с помощью стальных обойм, применяемых для повышения несущей способности железобетонных и каменных конструкций. Приводится математическая модель, основанная на методах структурно-аналитической мезомеханики, позволяющая выполнить расчёты конструкций и изделий из материалов с памятью формы на этапе активного изотермического нагружения с применением программных комплексов конечно-элементного анализа, путём модернизации заложенных в эти программы моделей пластичности. Рассматривается численное решение задачи изгиба тонкой пластинки из сплава с памятью формы для различных структурных состояний материала при действии равномерно распределённой нагрузки постоянной интенсивности и неоднородных граничных условиях. Приводятся результаты расчёта напряжённо-деформированного состояния планки из материала с памятью формы на этапе её подготовки к использованию в качестве одного из элементов усиления строительных конструкций.

Ключевые слова: материалы с памятью формы; усиление строительных конструкций; математическая модель; численный расчёт; изгиб тонких пластинок; растяжение тонких пластинок.

1. Введение

Материалы, обладающие эффектом памяти формы (ЭПФ), находят всё большее распространение в различных отраслях: промышленности, авиастроении, медицине, машиностроении и др. Очевидно, что подобные сплавы в ближайшей перспективе могут быть успешно внедрены и в строительной практике. Анализ зарубежных научных работ [3-10] показывает, что материалы с ЭПФ уже широко применяются западными странами в строительной практике (усиление мостовых конструкций, создание предварительного напряжения, реконструкция зданий, соединение стержневых элементов с помощью муфт из материала с памятью формы и т.д.).

Сплавы, обладающие эффектом памяти формы, относятся к так называемым интеллектуальным материалам, способным при определённом термосиловом воздействии накапливать значительные неупругие деформации (до 15%) и возвращать их без остаточных деформаций при тепловом воздействии в заданном интервале температур. Физическим обоснованием подобного поведения является перестройка кристаллической решётки сплавов, фазовый переход её из аустенитной в мартенситную структуру и наоборот в условиях термосилового воздействия (так называемый фазовый переход мартенситного типа). На макромасштабном уровне анализа процесс фазового перехода мартенситного типа проявляется в виде эффекта пластичности превращения, памяти формы, псевдоупругости и др. На основе использования эффекта пластичности превращения и памяти формы, в работе [1], предлагается вариант практического применения плоских ферм из материала с памятью формы в качестве напрягаемой арматуры в железобетонных конструкциях. В работе [1] изложены результаты расчёта напряжённо-деформированного состояния ферменных конструкций, выполненных из стержневых элементов, обладающих памятью формы, на этапе подготовки конструкций. Под *этапом подготовки* в [1] понимается определённое предварительное термосиловое воздействие на конструкцию из материала с памятью формы (в [1] – растяжение нижнего пояса фермы с последующей разгрузкой и сохранением остаточных деформаций) с целью получе-

ния необходимых характеристик на этапе нагрева (величина усилия натяжения), сопровождающегося возвратом накопленных неупругих деформаций и собственно созданием усилия натяжения.

В настоящей работе предлагается способ применения изделий из подобных сплавов для усиления строительных конструкций (колонн, простенков и т.п.), основанный на модификации стальных обойм для повышения несущей способности железобетонных и каменных конструкций. Рассматриваются результаты анализа напряжённо-деформированного состояния конструкций усиления из материалов с ЭПФ на *этапе их подготовки*, а также математический аппарат, положенный в основу расчётов.

2. Определяющие уравнения для расчёта мартенситной неупругости при активном изотермическом нагружении

Явление мартенситной неупругости, как отмечалось выше, основано на фазовых переходах в материале на структурном уровне в условиях термосилового воздействия. Кинетика фазовых переходов в материалах, обладающих эффектом памяти формы, характеризуется диаграммой фазового состояния, показанной на рисунке 1.

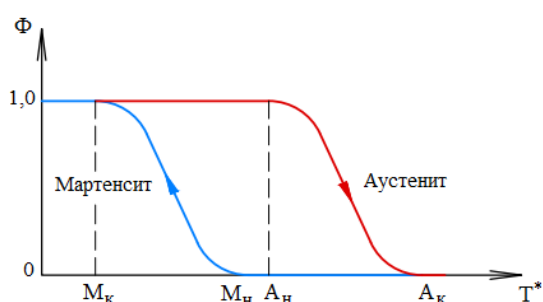


Рисунок 1 – Диаграмма фазового состояния материала с памятью формы

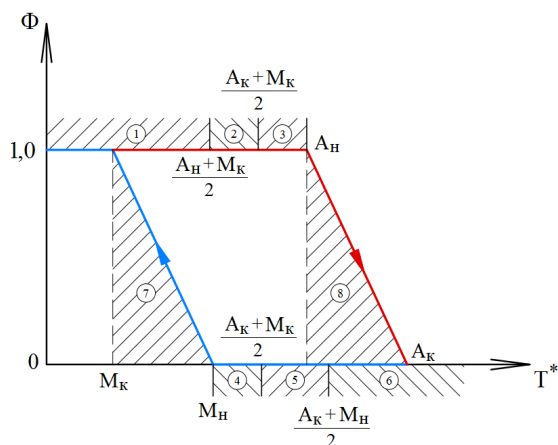


Рисунок 2 – Диаграмма фазового состояния и расчётные интервалы

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: M_H , M_K – температура, соответствующая началу и концу прямой мартенситной реакции (фазового перехода); A_H , A_K – температуры соответственно начала и конца обратной мартенситной реакции; Φ – удельное количество мартенситной фазы; T^* – эффективная температура, определяемая в соответствии с уравнением Клаузиуса-Клапейрона [2].

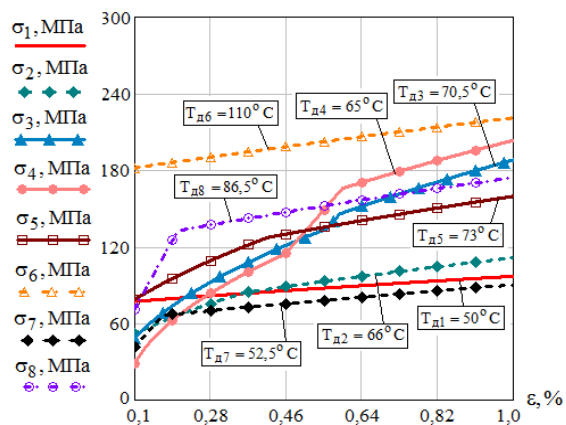


Рисунок 3 – Диаграммы σ_i – ϵ_i для различных структурных состояний и температурных интервалов

Очевидно, что для материалов с мартенситным каналом неупругости механическое поведение, характеризуемое диаграммой в координатах интенсивность напряжений (σ_i) – интенсивность деформаций (ϵ_i), будет в значительной степени зависеть от температуры деформирования, истории её изменения и фазового состояния (мартенситное, аустенитное или двухфазовое). В работе [1] подробно рассмотрено влияние названных факторов на диаграммы σ_i – ϵ_i . По результатам представленного в [1] анализа удалось, в рамках принятых допущений, выделить восемь интервалов на диаграмме $\Phi(T^*)$ по рисунку 1, каждому из которых соответствует различное механическое поведение материала. На рисунке 2 в стилизованном

виде показаны соответствующие расчётные интервалы температуры и фазового состояния. На рисунке 3 показаны теоретические кривые $\sigma_i - \varepsilon_i$, построенные для каждого из полученных интервалов (индекс кривой на рисунке 3 соответствует расчётному интервалу на рисунке 2). Примечательно, что в интервале температур около 50°C наблюдается качественное и количественное различие в диаграммах механического поведения материала. При этом с увеличением температуры наблюдается увеличение значений механических характеристик материала, что не присуще, например, сталям.

По результатам выполненного в [1] исследования удаётся выявить температурный интервал, требующий на *этапе подготовки* конструкции приложения минимальных внешних нагрузок. Поясним, что наиболее выгодным с точки зрения энергетических затрат является предварительное деформирование конструкции из материала с памятью в седьмом интервале (см. рисунок 2), когда материал находится в двухфазовом состоянии и является наиболее податливым. На рисунке 3 приведена соответствующая диаграмма $\sigma_i - \varepsilon_i$ (с индексом «7»), значение фазового предела пропорциональности для которой приблизительно в три раза ниже, чем для того же материала, но в аустенитном состоянии.

В работе [1] приведены разрешающие уравнения для расчёта эффектов мартенситной неупругости в каждом из расчётных интервалов, показанных на рисунке 2. В настоящей работе рассматривается расчёт напряжённо-деформированного состояния тонких пластинок при их изгибе и растяжении в расчётных интервалах 6 и 7 (см. рисунок 2).

Разрешающие уравнения вариант структурно-аналитической мезомеханики для расчёта эффектов мартенситной неупругости при активном изотермическом нагружении в расчётном шестом и седьмом интервалах выглядят, согласно [1], следующим образом (точка над символом означает производную по времени):

$$\dot{\varepsilon}_i = 2 \cdot B_\phi \cdot \frac{k \cdot \dot{\sigma}_i}{M_H - M_K} \cdot \frac{2}{3} \cdot \sigma_i \cdot H_{14}(\Delta\sigma); \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon}_i = & B_\phi \cdot \frac{k \cdot \dot{\sigma}_i}{M_n - M_k} \cdot \frac{2}{3} \cdot \sigma_i \cdot H_{15}(\Delta\sigma) + \frac{1}{E_{ef}} \cdot \dot{\sigma}_i \cdot H_{16}(\Delta\sigma) + \\ & + 2 \cdot B_\phi \cdot \frac{k \cdot \dot{\sigma}_i}{A_k - A_n} \cdot \frac{2}{3} \cdot \sigma_i \cdot H_{17}(\Delta\sigma), \end{aligned} \quad (2)$$

где E_{ef} – эффективное значение модуля упругости материала, вводимое для линейных участков диаграмм $\sigma_i - \varepsilon_i$ за пределами закона Гука; B_ϕ – параметр структурно-механической податливости в условиях мартенситных превращений; $k = (T_0/q_0) \cdot D_i$; T_0 – температура термодинамического равновесия; q_0 – тепловой эффект реакции; D_i – интенсивность тензора дисторсии мартенситного превращения; $H_{14}(\Delta\sigma)$, $H_{15}(\Delta\sigma)$, $H_{16}(\Delta\sigma)$, $H_{17}(\Delta\sigma)$ – функции Хевисайда, определяемые следующими выражениями:

$$H_{14}(\Delta\sigma) = H(\sigma_i - \sigma_{H\uparrow}^{A \rightarrow M'}) \cdot H(\sigma_{K\uparrow}^{M' \rightarrow A'} - \sigma_i); \quad (3)$$

$$H_{15}(\Delta\sigma) = H(\sigma_{K\uparrow}^{A \rightarrow M'} - \sigma_i); \quad (4)$$

$$H_{16}(\Delta\sigma) = H(\sigma_i - \sigma_{K\uparrow}^{A \rightarrow M'}) \cdot H(\sigma_{H\uparrow}^{M' \rightarrow A'} - \sigma_i); \quad (5)$$

$$H_{17}(\Delta\sigma) = H(\sigma_i - \sigma_{H\uparrow}^{M' \rightarrow A'}) \cdot H(\sigma_{K\uparrow}^{A' \rightarrow M'} - \sigma_i) \quad (6)$$

Напряжения, соответствующие началу и концу фазовых переходов, определяются выражениями:

$$\sigma_{H\uparrow}^{A \rightarrow M'} = \frac{T_D - M_H}{k}; \quad \sigma_{K\uparrow}^{M' \rightarrow A'} = \sigma_{H\uparrow}^{M' \rightarrow A'} + \frac{A_K - A_H}{k}, \quad \sigma_{H\uparrow}^{M' \rightarrow A'} = \frac{A_K - T_D}{k};$$

$$\sigma_{\kappa\uparrow}^{A\rightarrow M'} = \sigma_{\text{H}\uparrow}^{A\rightarrow M'} + \frac{M_{\text{H}} - M_{\text{K}}}{k}; \quad \sigma_{\text{H}\uparrow}^{M\rightarrow A'} = \frac{A_{\text{H}} - T_{\text{д}}}{k};$$

$$\sigma_{\kappa\uparrow}^{A'\rightarrow M'} = \sigma_{\text{H}\uparrow}^{M\rightarrow A'} + \frac{M_{\text{H}} - M_{\text{K}}}{k}; \quad (7)$$

Обозначения $\sigma_{\text{H}\uparrow}^{A\rightarrow M'}$, $\sigma_{\text{H}\uparrow}^{M\rightarrow A'}$, $\sigma_{\text{H}\uparrow}^{M'\rightarrow A'}$ характеризуют величины напряжений начала соответствующих фазовых переходов, а $\sigma_{\kappa\uparrow}^{M'\rightarrow A'}$, $\sigma_{\kappa\uparrow}^{A\rightarrow M'}$, $\sigma_{\kappa\uparrow}^{A'\rightarrow M'}$ обозначают уровень напряжений, при которых заканчивается обозначенное фазовое превращение). Более подробное описание принятых обозначений, а также их физическое обоснование приведены в [1, 2].

Таким образом, выражения (1) – (7) позволяют выполнить расчёт конструкций из материалов с памятью формы при активном изотермическом нагружении в расчётных интервалах температур 6 и 7 по рисунку 2.

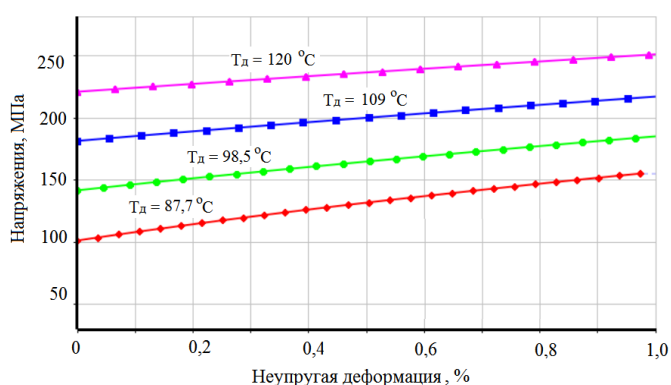


Рисунок 4 – Диаграммы материала в координатах σ_{Γ} – ϵ_{Γ} для расчётного интервала 6

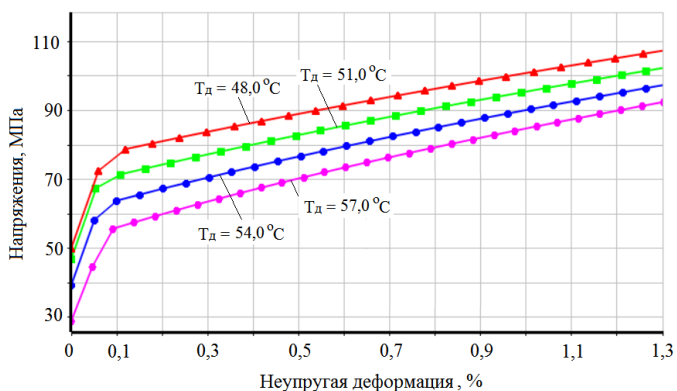


Рисунок 5 – Диаграммы материала в координатах σ_{Γ} – ϵ_{Γ} в расчётном интервале 7

напряжённно-деформированного состояния тонкой прямоугольной пластинки, выполненной из материала, обладающего эффектом памяти формы на этапе активного нагружения. Пластика нагружена равномерно распределённой нагрузкой постоянной интенсивности q , перпендикулярной срединной плоскости. Кинематические граничные условия задаются в виде шарнирного закрепления по коротким сторонам пластинки, жёстким защемлением длинной стороны и свободной четвёртой стороной. На рисунке 6 представлена конечно-элементная модель пластинки.

3. Численное решение задач изгиба и растяжения тонких пластинок из материала с памятью формы. В данном разделе приведены результаты численного расчёта напряжённно-деформированного состояния тонких пластинок с применением программного комплекса Ansys, путём модернизации заложенных в эту программу моделей пластичности, основанных на гипотезе о простом нагружении конструкций и существовании универсальной зависимости σ_{Γ} – ϵ_{Γ} . Методика адаптации экспериментально обоснованного математического аппарата материалов с памятью формы в программу Ansys подробно изложена в работе [1].

На рисунках 4, 5 приведены диаграммы σ_{Γ} – ϵ_{Γ} в программе Ansys для расчётных интервалов 6 и 7 (см. рисунок 2) на основании результатов, показанных на рисунке 3.

Расчёт прямоугольной тонкой пластинки с комбинированными граничными условиями. Приводится численное решение в программе Ansys

Расчёт пластинки выполняется при следующих значениях исходных параметров: $q=0,25$ МПа, $h=50$ мм – толщина пластинки; $a=1000$ мм, $b=2500$ мм – соответственно ширина и длина пластинки; $E_m=33712$ МПа, $E_a=56046$ МПа – значения модулей упругости материала соответственно в мартенситном и аустенитном состоянии; $V_{\phi 1}=10,75 \cdot 10^{-11}$ Па⁻¹, $V_{\phi 2}=7,5 \cdot 10^{-11}$ Па⁻¹ – параметр структурно-механической податливости материала соответственно в мартенситном и аустенитном структурном состояниях; $k_1=2,5 \cdot 10^{-7}$ (К/Дж·м⁻³), $k_2=1,75 \cdot 10^{-7}$ (К/Дж·м⁻³) – значения параметра материала соответственно в мартенситном и аустенитном состоянии; $M_H=333$ К, $M_K=318$ К, $A_H=352$ К, $A_K=367$ К – температуры соответственно начала и конца прямой и обратной мартенситной реакции.

Результаты расчёта напряжённо-деформированного состояния пластинок в расчётных интервалах 6 и 7 (см. рисунок 2) представлены на рисунках 7 – 10.

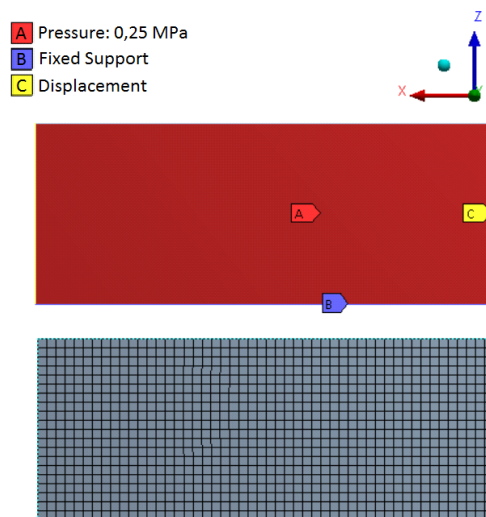


Рисунок 6 – Конечно-элементная модель прямоугольной пластинки

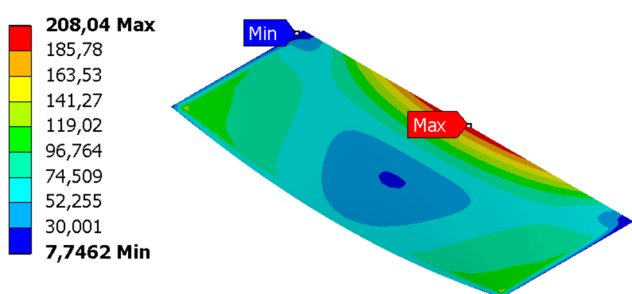


Рисунок 7 – Распределение приведённых по Губеру-Мизесу напряжений (МПа) в интервале 6

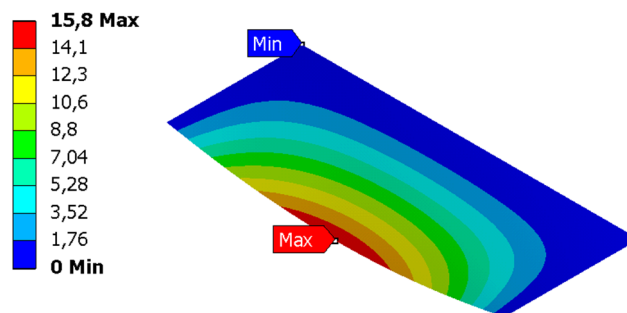


Рисунок 8 – Распределение прогибов (мм) в интервале 6

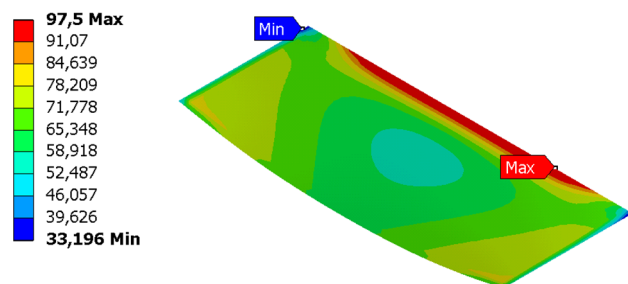


Рисунок 9 – Распределение приведённых по Губеру-Мизесу напряжений (МПа) в интервале 7

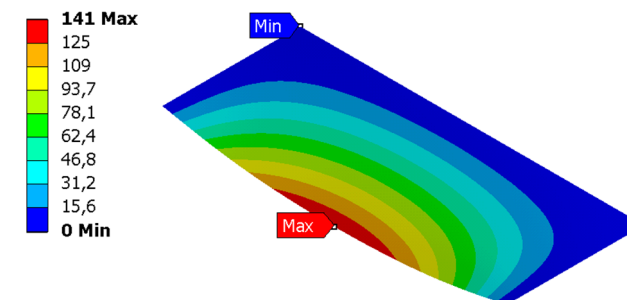


Рисунок 10 – Распределение прогибов (мм) в расчётном интервале 7

Как показывают результаты расчёта, представленные на рисунках 7 – 10, структурное состояние материала с памятью формы оказывает существенное влияние на напряжённо-деформированное состояние конструкций. Нетрудно заметить, что при нагружение в расчётном интервале 7 (см. рисунок 2), когда материал пластинки находится в двухфазовом состоянии, конструкция является гораздо более податливой в сравнении с конструкцией, изготовленной из того же материала, но нагружаемой в интервале 6, что соответствует аустенитной структуре материала.

Использование подобных эффектов позволяет спрогнозировать наиболее оптимальные способы *подготовки конструкций* и изделий из материала с памятью формы.

Способ практического применения материалов с эффектом памяти формы для усиления строительных конструкций. Задача усиления строительных конструкций является актуальной для возведённых зданий и сооружений, а также их элементов в процессе их эксплуатации. Широкое распространение получил способ усиления строительных конструкций с применением предварительно напряжённых стальных обойм. К недостаткам данного способа усиления можно отнести необходимость контроля натяжения стяжного болта, повышенную гибкость уголков на стадии монтажа, а также необходимость установки упорных уголков.

В связи с вышесказанным, предлагается способ создания предварительно напряжённой обоймы с применением элементов из материала с памятью формы, не требующими контроля натяжения, а также создания упорных уголков.

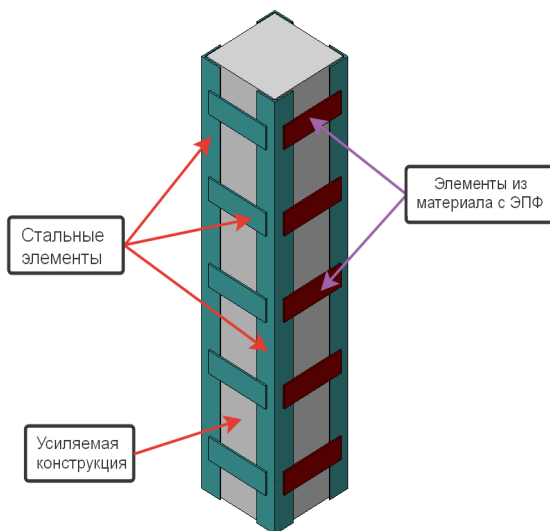


Рисунок 11 – Схема усиления конструкций с применение материалов с памятью формы

На рисунке 11 показана схема усиления колонны обоймой, некоторые элементы которой изготовлены из стали, а часть поперечных планок из материала, обладающего эффектом памяти формы. Процесс создания предварительно напряжённых обойм с применением сплавов с памятью формы можно условно разделить на следующие этапы: 1. Изготовление стальных сварных элементов конструкций (см. рисунок 11) и их соединение на сварке. 2. Изготовление планок из материала, обладающего памятью формы. 3. Предварительное нагружение планок, обладающих памятью формы, растягивающей нагрузкой (этап подготовки конструкции) до необходимого уровня напряжений, превышающих предел пропорциональности материала. 4. Разгрузка планок (с сохранением остаточного удлинения планок). 5. Установка стальных

обойм (п.1) к двум граням конструкции в проектное положение. 6. Приварка предварительно удлинённых планок, выполненных из материала с памятью формы, к стальным элементам обоймы с последующим их нагревом под воздействием температуры окружающей среды (или принудительно с помощью электрического тока) с целью реализации эффекта памяти формы. В таком случае, остаточное удлинение планки (см. п.4) под воздействием температуры будет стремиться к самокомпенсации, а конструкция планки из материала с памятью вернётся в исходное (ненагруженное) состояние. При этом в планке при тепловом воздействии будет возникать внутреннее усилие сжатия, которое позволит создать необходимое обжатие обоймой колонны для их совместной работы, а также предотвратить появление и развитие трещин в усиливаемой конструкции.

В настоящей работе представлены результаты расчёта напряжённо-деформированного состояния планки, выполненной из материала с памятью формы, на этапе подготовки конструкции (пп. 3, 4). На рисунке 12 представлена расчётная конечно-элементная модель планки, построенная в программе Ansys.

Размеры планки: $b=60$ мм – ширина планки; $L=280$ мм – длина планки; $t=6$ мм – толщина планки.

Кинематические граничные условия задаются в виде жёсткого защемления планки по короткой стороне. Силовые граничные условия задаются в виде растягивающей силы $F=3\text{тс}$, приложенной к свободной короткой стороне планки, как показано на рисунке 12.

Нагружение конструкции предполагается в расчётном интервале 7 при температуре близкой к температуре M_n (см. рисунок 2), так как материал в таком случае является наиболее податливым (как показано на рисунках 7 – 10).

На рисунках 13 – 16 представлены результаты расчёта напряжённо-деформированного состояния планки из сплава с памятью формы на *этапе подготовки конструкции*.

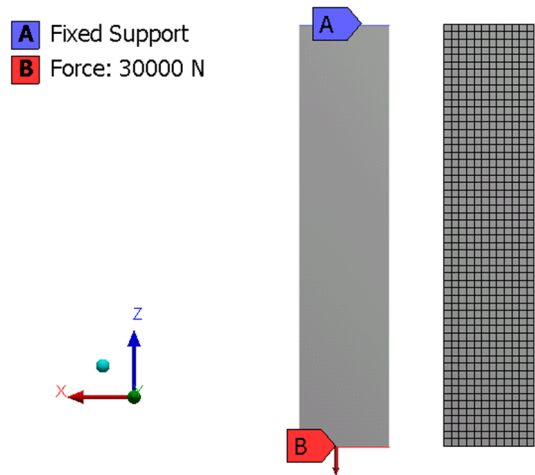


Рисунок 12 – Конечно-элементная модель планки из материала с памятью формы

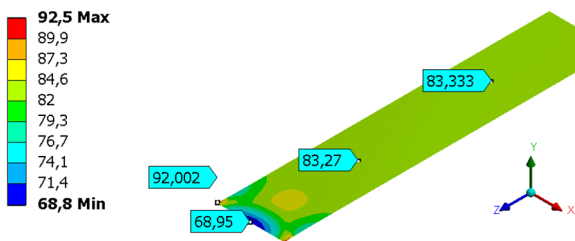


Рисунок 13 – Распределение приведённых по Губеру-Мизесу напряжений (МПа) от действия расчётной нагрузки

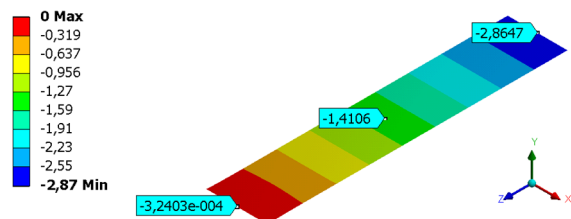


Рисунок 14 – Распределение перемещений по оси Z (мм) от действия расчётной нагрузки

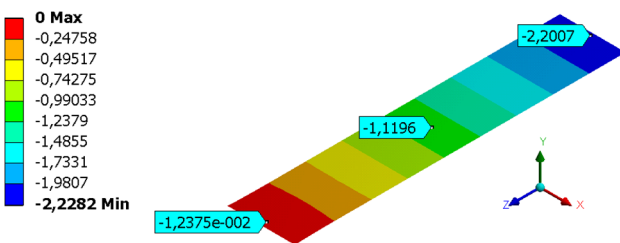


Рисунок 15 – Распределение остаточных перемещений по оси Z (мм) после разгрузки конструкции

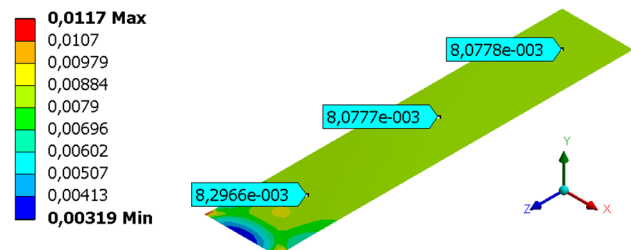


Рисунок 16 – Распределение остаточных приведённых деформаций после разгрузки конструкции

Как показано на рисунках 15, 16 в конструкции после снятия внешних нагрузок имеется остаточное удлинение (2,1998 мм) и соответственно остаточная деформация (0,808%). В таком «удлинённом» состоянии планку из материала с памятью формы предлагается устанавливать в проектное положение путём приварки к стальным элементам обоймы (см. рисунок 11). В процессе нагрева через интервал температур обратного мартенситного превращения происходит восстановление исходного состояния и компенсация остаточных деформаций при тепловом воздействии за счёт генерации упругой деформации. Реактивные напряжения σ_p , генерируемые в планках из материала с ЭПФ и соответствующую сжимающую силу N_p определим по формулам:

$$\sigma_p = \varepsilon_{\text{ост}} \cdot E = 0,00808 \cdot 56046 = 453 \text{ МПа};$$

$$N_p = b \cdot t \cdot \sigma_p \cdot 0,8 = 0,06 \cdot 0,006 \cdot 453 \cdot 10^6 \cdot 0,8 = 13 \text{ тс}.$$

Таким образом, на этапе процесса обратного мартенситного превращения при нагреве материал способен сгенерировать внутреннее усилие в 4,33 раза превышающее усилие, которым выполнялось предварительное удлинение ($13/3=4,33$) на этапе подготовки. Подобное явление обосновывается правильным выбором расчётного температурного интервала предварительного деформирования и структурного состояния материала, которые удаётся выявить на основании разработанной математической модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малинин, В.Г. Сплавы с эффектом памяти формы: математическая модель, численное решение некоторых задач механики / В.Г. Малинин, Ю.Ю. Муссауи // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2016. – №5(319). – С.9-17.
2. Лихачёв, В. А. Структурно-аналитическая теория прочности / В. А. Лихачёв, В. Г. Малинин. – СПб.: Наука, 1993. – 471 с.
3. Motavalli, M. Shape memory alloys for civil engineering structures – on the way from vision to reality / M. Motavalli, C. Czaderski, A. Bergamini, L. Janke // Architecture civil engineering environment. – 2009. – №4. – с. 81-94.
4. Song, G. Applications of shape memory alloys in civil structures / G. Song, N. Ma, H.-N. Li // Engineering Structures. – 2006 – №28 – с. 1266-1274.
5. Dhar, S. State of art review of shape memory alloy used in civil structures as seismic control device / S. Dhar, S. Das, P. Saha // IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology. – 2015. – Vol. 4(13) – с. 195-203.
6. McCarthy, E. Mitigating Seismic Bridge Damage through Shape Memory Alloy Enhanced Modular Bridge Expansion Joints / E. McCarthy, T. Wright, J. E. Padgett, R. DesRoches, P. Bradford // American Society of Civil Engineers Structures Congress. – 2012. – с. 708-717.
7. Ozbulut, O. E. Seismic Protection of Bridge Structures Using Shape Memory Alloy-Based Isolation Devices / O. E. Ozbulut, S. Hurlbaeus // American Society of Civil Engineers Structures Congress. – 2011. – с. 2066-2077.
8. Ren, W. J. American Society of Civil Engineers 11th Biennial ASCE Aerospace Division International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments / W.J. Ren, H.N. Li, G.B. Song // American Society of Civil Engineers 11th Biennial ASCE Aerospace Division International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments. – 2008. – с. 1-9.
9. Moradi, S. Feasible Application of Shape Memory Alloy Plates in Steel Beam-Column Connections / S. Moradi, M. Shahria Alam // American Society of Civil Engineers Structures Congress. – 2015. – с. 2089-2100.
10. Muntasir Billah, A.H.M. Damping-Ductility Relationship for Performance Based Seismic Design of Shape Memory Alloy Reinforced Concrete Bridge Pier / A.H.M. Muntasir Billah; and M. Shahria Alam // American Society of Civil Engineers Structures Congress. – 2015. – с. 474-484.

Малинин Владислав Георгиевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», г. Орел
Доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры инженерной графики и механики

Муссауи Юсеф Юссефович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», г. Орел
Аспирант кафедры инженерной графики и механики
E-mail: yusmus@yandex.com

Бурдин Юрий Александрович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», г. Орел
Аспирант кафедры инженерной графики и механики

V. MALININ, Yu. MUSSAUI, Yu. BURDIN

THE APPLICATION OF SHAPE MEMORY ALLOYS FOR CIVIL STRUCTURES REINFORCEMENT

The issues of application of alloys with shape memory effect for civil structures reinforcement based on experience of reinforcement using steel hooping for increasing the bearing of reinforced concrete and masonry structures. A mathematical model, based on methods of structural-analytical mesomechanics, that allows to perform calculations and designs of products made of shape memory alloys in the active stage of isothermal loading with the use of software systems of finite-element analysis by upgrading inherent in these programs plasticity models. Numerical solution of thin plates bending, made of shape memory material, under an evenly distributed load of constant intensity and inhomogeneous boundary conditions. Results of stress-strain solution of plate made of shape memory material at the preparation stage to use as reinforcement of building structures.

Keywords: *shape memory alloys; civil structures reinforcement; mathematical model; numerical calculations; bending of thin plates; stretching of thin plates.*

BIBLIOGRAPHY

1. Malinin, V.G. Splavy s efektom pamyati formy: matematicheskaya model', chislennoye resheniye nekotorykh zadach mekhaniki / V.G. Malinin, YU.YU. Mussau / Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2016. – №5(319). – S.9-17.
2. Likhachov, V. A. Strukturno-analiticheskaya teoriya prochnosti / V. A. Likhachov, V. G. Malinin. – SPb.: Nauka, 1993. – 471 s.
3. Motavalli, M. Shape memory alloys for civil engineering structures – on the way from vision to reality / M. Motavalli, C. Czaderski, A. Bergamini, L. Janke // Architecture civil engineering environment. – 2009. – №4. – c. 81-94.
4. Song, G. Applications of shape memory alloys in civil structures / G. Song, N. Ma, H.-N. Li // Engineering Structures. – 2006 – №28 – s. 1266-1274.
5. Dhar, S. State of art review of shape memory alloy used in civil structures as seismic control device / S. Dhar, S. Das, P. Saha // IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology. – 2015. – Vol. 4(13) – s. 195-203.
6. McCarthy, E. Mitigating Seismic Bridge Damage through Shape Memory Alloy Enhanced Modular Bridge Expansion Joints / E. McCarthy, T. Wright, J. E. Padgett, R. DesRoches, P. Bradford // American Society of Civil Engineers Structures Congress. – 2012. – c. 708-717.
7. Ozbulut, O. E. Seismic Protection of Bridge Structures Using Shape Memory Alloy-Based Isolation Devices / O. E. Ozbulut, S. Hurlebaus // American Society of Civil Engineers Structures Congress. – 2011. – c. 2066-2077.
8. Ren, W. J. American Society of Civil Engineers 11th Biennial ASCE Aerospace Division International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments / W.J. Ren, H.N. Li, G.B. Song // American Society of Civil Engineers 11th Biennial ASCE Aerospace Division International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments. – 2008. – c. 1-9.
9. Moradi, S. Feasible Application of Shape Memory Alloy Plates in Steel Beam-Column Connections / S. Mo-radi, M. Shahria Alam // American Society of Civil Engineers Structures Congress. – 2015. – c. 2089-2100.
10. Muntasir Billah, A.H.M. Damping-Ductility Relationship for Performance Based Seismic Design of Shape Memory Alloy Reinforced Concrete Bridge Pier / A.H.M. Muntasir Billah; and M. Shahria Alam // American Society of Civil Engineers Structures Congress. – 2015. – c. 474-484.

V. Malinin

Orel State Agrarian University named after N.V. Parahin, Orel
Doctor of Phys. and Math. Sciences, Professor, Professor of the Department of Engineering Graphics and Mechanics

Yu. Moussaoui

Orel State Agrarian University named after N.V. Parahin, Orel
Post-graduate student of the Department of Engineering Graphics and Mechanics
E-mail: yusmus@yandex.com

Yu. Burdin

Orel State Agrarian University named after N.V. Parahin, Orel
Post-graduate student of the Department of Engineering Graphics and Mechanics

СЕМЕНЮК О.С., ТУР В.В.

СОБСТВЕННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ И САМОНАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА В УСЛОВИЯХ ОСЕВОГО ОГРАНИЧЕНИЯ

Представлены основные положения и базовые уравнения модифицированной деформационной модели для расчёта величины связанной относительной деформации расширения напрягающего бетона при различных условиях ограничения. Предложенная модель реализована в виде итерационной процедуры, рассматривающей процесс расширения напрягающего бетона на элементарных временных интервалах. Положения модифицированной деформационной модели были верифицированы на фоне опытных данных, полученных при исследовании самонапряжённых бетонных элементов со стальным и композитным армированием при различных условиях ограничения. Сравнение экспериментальных и расчётных величин связанной относительной деформации показало хорошее совпадение. Подтверждена эффективность применения композитной арматуры в сочетании с напрягающим бетоном. Исходное напряжённо-деформированное состояние от расширения напрягающего бетона в связанных условиях благоприятно повлияло на сопротивление элемента при нагружении.

Ключевые слова: *напрягающий бетон, композитная арматура, связанная деформация, самонапряжение, декомпрессия.*

1. Введение

Одной из проблем, оказывающих существенное влияние на снижение эксплуатационных свойств конструктивных элементов зданий и инженерных сооружений из монолитного железобетона, является образование и развитие трещин в результате действия усилий от вынужденных деформаций, обусловленных усадкой (воздушно-сухой и аутогенной) и температурными изменениями, имеющими место как в процессе строительства, так и на стадии эксплуатации объекта. Для предотвращения появления и развития температурно-усадочных трещин в настоящее время предпринимают интенсивные действия, направленные на разработку комплекса конструктивно-технологических мероприятий (устройство температурно-усадочных швов, применение химических добавок-модификаторов, разработка рациональных методов ухода за бетоном, включая внутреннее увлажнение и др.), которые зачастую при практической реализации оказываются малоэффективными. На протяжении ряда лет, одним из эффективных способов повышения трещиностойкости конструкций из монолитного бетона, является выполнение предварительного напряжения в построечных условиях (постнапряжение). Несмотря на очевидные преимущества названного способа, его реализация требует применения высокотехнологичного оборудования, специальных анкерных устройств, а также привлечения высококвалифицированного персонала. Альтернативой механическому способу натяжения арматуры является физико-химический способ предварительного напряжения при применении бетонов на основе напрягающего цемента (напрягающий бетон). При реализации данного способа, натяжение арматуры происходит в процессе объёмного расширения напрягающего бетона на стадии твердения и набора прочности последнего.

В настоящее время в мировой практике (Китай [1], Япония [2], США [3]) наблюдается как существенное увеличение объёмов производства и применения бетона, выполненного на основе расширяющихся вяжущих и добавок (в основном сульфалоюминатного и оксидного типа), так и интенсификация исследований в данной области. Необходимо подчеркнуть, что за последние десятилетия в отечественной практике накоплен значительный опыт примене-

ния напрягающего бетона в конструкциях зданий и сооружений, основанный на результатах экспериментально-теоретических исследований научной школы проф. В.В. Михайлова [4], заложившей основы современного самоупроченного железобетона.

Вместе с тем, широкое применение конструкций из напрягающего бетона (далее – самоупроченных конструкций) в практике строительства может быть обеспечено только в том случае, если будут достигнуты стабильные значения параметров расширения, соответствующие значениям, заложенным в расчёт при проектировании. Данное требование может быть реализовано с одной стороны совершенствованием технологии получения расширяющихся вяжущих и бетонов на их основе, обеспечивающих достижение заданных характеристик расширения и самоупрочения в стандартных условиях, а с другой стороны – применением адекватных расчётных моделей для определения связанных деформаций для любых условий ограничения деформаций свободного расширения напрягающего бетона. В настоящее время технология получения расширяющихся вяжущих (добавок) и бетонов на их основе опережает в своём развитии разработку моделей, применяемых для расчёта собственных деформаций самоупроченных элементов в раннем возрасте.

Применяемые в настоящее время модели для оценивания связанных деформаций в раннем возрасте базируются, главным образом, на следующих подходах: энергетическом [4, 5]; деформационном [6, 7]; объединённом подходе [8], основанном на совместном использовании положений энергетического и деформационного подходов. Несмотря на ряд преимуществ известные подходы в их актуальной формулировке имеют ряд недостатков, которые подробно проанализированы в наших работах [9].

Как следует из накопленных за последние десятилетия результатов исследования самоупроченных конструкций, величина связанных деформаций к моменту стабилизации расширения зависит главным образом от следующих факторов: энергоактивности применённого вяжущего и его содержания в составе бетонной смеси, степени ограничения деформаций свободного расширения (жёсткости ограничивающих связей), положения ограничивающих связей (граничных условий) и условий хранения конструкции на стадии расширения напрягающего бетона. При этом традиционно бытует представление о том, что на стадии расширения следует обеспечивать достижение максимальных значений сжимающих напряжений в бетоне (самоупрочений), а величина связанной деформации отодвигается на второй план. Так, например, в рамках энергетического подхода [4, 5], выполняют расчёт только самоупрочений без оценки величины связанных деформаций. Вместе с тем в компенсации усадочных деформаций основную роль играет величина достигаемых деформаций связанного расширения. Несложно показать, что при увеличении жёсткости ограничения могут быть достигнуты значительные по величине самоупрочения (например, при условно абсолютно жёсткой связи), которые будут достаточно быстро погашены после реализации усадочных деформаций, равных по величине деформациям упругого обжатия напрягающего бетона, накопленных в процессе его расширения в условиях ограничения. Поэтому следует стремиться к достижению некоторого оптимального соотношения между величиной связанной деформации и самоупрочения как результата упругого обжатия бетона. К сожалению, величина деформации упругого обжатия напрягающего бетона не может быть измерена непосредственно в опытах или рассчитана с применением известных моделей в случае применения высокоактивных напрягающих бетонов.

Одним из рациональных решений, обеспечивающих оптимальное соотношение деформации связанного расширения и самоупрочения, является применение бетонных элементов, в которых в качестве арматуры применены стержни из полимерного композита. Как известно, полимерный композит представляет собой двухкомпонентный материал, состоящий из армирующего волокна (стекловолокно, базальтовое волокно, углеволокно, различного рода синтетические волокна) и связующего (в качестве которого могут выступать как терморезистивные, так и термопластичные полимеры). Следует отметить, что несмотря на ряд

преимуществ композитной арматуры, таких как высокая прочность при растяжении в сочетании со сравнительно малым удельным весом, стойкость к ряду агрессивных воздействий, радиопрозрачность, магнитоинертность и т.д., её широкое применение для армирования бетонных элементов ограничено вследствие повышенной деформативности, обусловленной низким модулем упругости (в среднем от 30 до 60 МПа), сравнимым с модулем упругости бетона. В мировой практике данный недостаток предлагают компенсировать путём предварительного натяжения стержней из полимерных композитов [10]. В случае физико-химического способа натяжения композитных стержней появляется возможность с одной стороны – получить значительные по величине деформации связанного расширения (как результат пониженной жёсткости ограничения), которые не будут полностью погашены усадкой, а с другой стороны – создать требуемые уровни самоупреждения, благоприятно влияющие на трещиностойкость и жёсткость конструктивного элемента.

К настоящему времени практически полностью отсутствуют данные как экспериментальных, так и теоретических исследований, относящиеся к самоупреженным элементам, армированным стержнями из полимерных композитов. В настоящей статье представлены результаты экспериментально-теоретических исследований, включавших два основных этапа: разработку положений модифицированной деформационной модели расширяющегося бетонного композита при различных условиях ограничения деформаций расширения и экспериментальные исследования самоупреженных элементов с армированием стальными стержнями и стержнями из полимерного композита на стадии самоупреждения и на стадии статических испытаний.

2. Теоретические положения модифицированной деформационной модели (Modified strains development model – «MSDM»)

2.1. Общие положения

В отличие от традиционного механического способа создания предварительного напряжения, который следует рассматривать как «одномоментное» явление обжатия бетонного сечения с установившимися к моменту передачи усилия жесткостными характеристиками, физико-химический способ – реализуется на некотором временном интервале непрерывно от момента достижения сцепления ограничивающей арматуры и бетона вплоть до стабилизации процесса расширения (см. рисунок 1). Это приводит к монотонному накоплению в бетоне упругих деформаций сжатия от реакции в ограничивающих связях, формирующихся в результате непрерывно увеличивающейся связанной деформации на фоне изменяющихся жесткостных характеристик напрягающего бетона с учётом его ползучести в раннем возрасте, приводящей к релаксации напряжений.

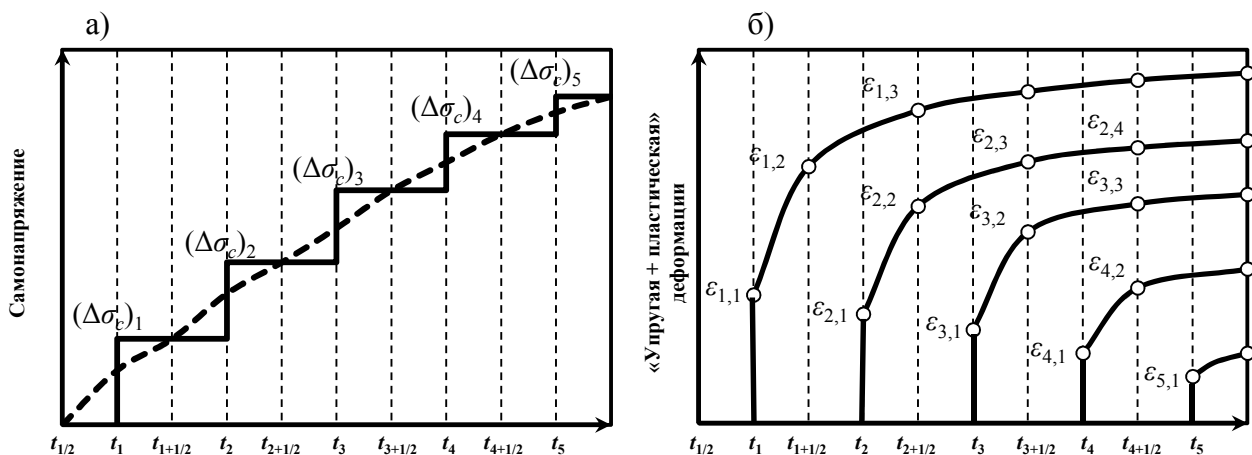


Рисунок 1 – Схема процесса накопления самоупреждений (а) и упруго-пластических деформаций (б) в напрягающем бетоне

Разработанная деформационная модель реализована в виде итерационной процедуры, рассматривающей процесс связанного расширения на i -ых элементарных временных интервалах (см. рисунок 1), на каждом из которых определяется величина связанной относительной деформации расширения напрягающего бетона на уровне ограничивающих связей с учётом установившихся к данному времени жесткостных характеристик напрягающего бетона и зависимостей, описывающих развитие во времени деформаций свободного расширения. Главной отличительной особенностью предложенной модели от ранее разработанных деформационных моделей [6, 7, 11], является то, что на рассматриваемом i -ом временном интервале суммарная реакция в ограничивающих связях, накопленная к окончанию предыдущего ($i-1$)-ого временного интервала рассматривается как дополнительное ограничивающее усилие, оказывающее сдерживающее влияние на приращение деформаций расширения. Это дополнительное сдерживающее влияние учитывается в виде упругой деформации сжатия бетона, вызванной суммарной реакцией в ограничивающих связях и которая должна быть преодолена для того, чтобы начал реализовываться процесс связанного расширения на рассматриваемом i -ом временном интервале. По существу, для каждого нового временного интервала процесс деформирования рассматривается как на первом итерационном шаге, но в условиях монотонно возрастающей степени ограничения для приращения деформаций свободного расширения при увеличивающейся реакции в ограничивающей арматуре, рассматриваемой как дополнительное усилие, приложенное к сечению. На каждом i -ом временном интервале рассматриваются совместно уравнения равновесия, уравнения совместности деформаций и физические законы, описывающие изменение прочностных и деформационных характеристик напрягающего бетона в раннем возрасте (в том числе модуля упругости и функции ползучести), а также кинетика развития собственных деформаций свободного расширения.

2.2. Предпосылки и допущения

При формулировании базовых уравнений модифицированной деформационной модели для определения связанной относительной деформации расширения и самонапряжения напрягающего бетона были приняты следующие предпосылки и допущения:

1. Приращение связанной относительной деформации напрягающего бетона на стадии расширения на произвольном i -ом временном интервале для заданного уровня ограничения определяется как алгебраическая сумма приращений относительной деформации свободного расширения, упругой и пластической составляющей относительной деформации напрягающего бетона, а также упругой относительной деформации сжатия напрягающего бетона от усилия в ограничивающей связи, достигнутого к началу расширения напрягающего бетона на рассматриваемом i -ом временном интервале.

2. Все усилия, действующие на стадии расширения напрягающего бетона, относятся к категории внутренних и взаимоуравновешены.

3. На стадии расширения напрягающий бетон и ограничивающая арматура деформируются совместно после достижения бетоном начальной прочности $f_{cm,0}(t) \geq 7,5$ МПа.

4. Для стадии расширения является справедливой гипотеза плоского сечения на любом из рассматриваемых элементарных временных интервалов.

5. Самонапряжение в элементе является результатом накопившихся на стадии связанного расширения упругих относительных деформаций напрягающего бетона. Величину самонапряжения рассчитывают по величине реакции в ограничивающей связи как для традиционного предварительно напряжённого элемента.

6. Величину суммарной упругой деформации сжатия напрягающего бетона к концу рассматриваемого i -ого временного интервала определяют как произведение суммы приращений упругой составляющей относительной деформации напрягающего бетона

$\left(\sum_{j=1}^i \left[\frac{(\Delta\sigma_c)_j}{E_c(t_j)} \right] \right)$ и отношения средневзвешенного ($E_{c,aw}(t_{i+1/2})$) и фактического ($E_c(t_{i+1/2})$) к

концу i -ого временного интервала модулей упругости напрягающего бетона в модифицированном возрасте, соответствующем реальному возрасту $t_{i+1/2}$. Средневзвешенный модуль упругости напрягающего бетона определяют по следующей формуле:

$$E_{c,aw}(t_{i+1/2}) = \frac{\sum_{j=1}^i (\Delta\sigma_c)_j \cdot E_c(t_j)}{\sum_{j=1}^n (\Delta\sigma)_j}, \text{ где } (\Delta\sigma_c)_j \text{ – приращение величины самонапряжения на } j\text{-ом}$$

временном интервале; $E_c(t_j)$ – модуль упругости напрягающего бетона в модифицированном возрасте, соответствующем реальному возрасту t_j).

2.3. Случай одноосного симметричного расположения ограничивающих связей конечной жёсткости

При симметричном расположении ограничивающих связей конечной жёсткости (см. рисунок 2) базовое уравнение для расчёта приращения связанной относительной деформации расширения $(\Delta\varepsilon_r)_i$ на произвольном i -ом элементарном временном интервале представлено алгебраической суммой:

$$(\Delta\varepsilon_r)_i = (\Delta\varepsilon_{CE,f})_i + (\Delta\varepsilon_{c,el})_i + (\Delta\varepsilon_{c,pl})_i + \frac{\sum_{j=1}^{i-1} \left[\frac{(\Delta\sigma_c)_j}{E_c(t_j)} \right] \cdot E_{c,aw}(t_{(i-1)+1/2})}{E_c(t_{(i-1)+1/2})}, \quad (1)$$

где $(\Delta\varepsilon_{CE,f})_i$ – приращение относительной деформации свободного расширения напрягающего бетона на рассматриваемом i -ом временном интервале;

$(\Delta\varepsilon_{c,el})_i$ – приращение упругой составляющей относительной деформации напрягающего бетона в условиях ограничения на рассматриваемом i -ом временном интервале;

$(\Delta\varepsilon_{c,pl})_i$ – приращение пластической составляющей относительной деформации напрягающего бетона в условиях ограничения на рассматриваемом i -ом временном интервале, обусловленное ползучестью напрягающего бетона в раннем возрасте от действия постоянных по величине приращений самонапряжения, возникших на предыдущих по отношению к рассматриваемому временных интервалах;

$\sum_{j=1}^{i-1} \left[\frac{(\Delta\sigma_c)_j}{E_c(t_j)} \right]$ – суммарная упругая относительная деформация сжатия напрягающего бе-

тона, накопившаяся к началу рассматриваемого i -ого временного интервала, представляющая собой сумму приращений упругих относительных деформаций сжатия напрягающего бетона в условиях ограничения на временных интервалах от 1-ого до $(i-1)$ -ого;

$E_{c,aw}(t_{(i-1)+1/2})$ – средневзвешенный модуль упругости напрягающего бетона в модифицированном возрасте, соответствующем реальному возрасту напрягающего бетона $t_{(i-1)+1/2}$, который соответствует началу рассматриваемого i -ого временного интервала.

$E_c(t_{(i-1)+1/2})$ – модуль упругости напрягающего бетона в модифицированном возрасте, соответствующем реальному возрасту напрягающего бетона $t_{(i-1)+1/2}$, который соответствует началу рассматриваемого i -ого временного интервала.

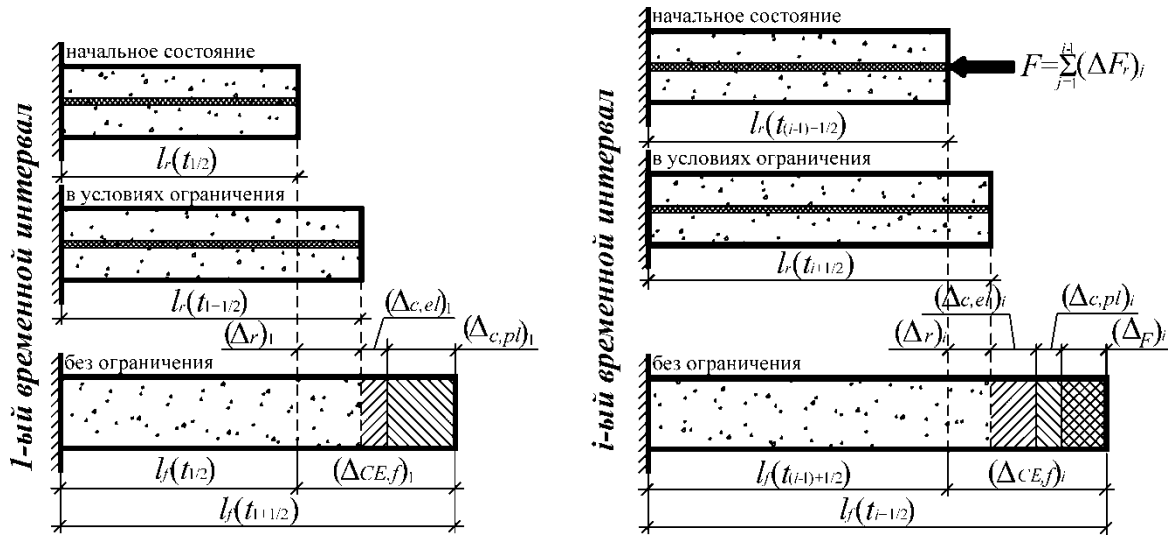


Рисунок 2 – Схема развития во времени свободного и связанного расширения напрягающего бетона в условиях одноосного симметричного расположения связей конечной жёсткости [12]

Сумма приращений упругой $(\Delta\varepsilon_{c,el})_i$ и пластической $(\Delta\varepsilon_{c,pl})_i$ составляющих относительной деформации напрягающего бетона на i -ом элементарном временном интервале представлена в следующем виде:

$$(\Delta\varepsilon_{c,el})_i + (\Delta\varepsilon_{c,pl})_i = (\Delta\sigma_c)_i \cdot J(t_{i+1/2}; t_i) + \sum_{j=1}^{i-1} \left[(\Delta\sigma_c)_j \cdot \frac{\Delta\phi(t_i; t_j)}{E_{cm,t28}} \right], \quad (2)$$

$$\Delta\phi(t_i; t_j) = \phi(t_{i+1/2}; t_j) - \phi(t_{(i-1)+1/2}; t_j),$$

где $(\Delta\sigma_c)_i$ – приращение самонапряжения на рассматриваемом i -ом временном интервале;

$J(t_{i+1/2}; t_j)$ – функция ползучести напрягающего бетона в раннем возрасте;

$E_{cm,t28}$ – модуль упругости напрягающего бетона, соответствующий 28-и суткам реального возраста;

$\phi(t_{i+1/2}; t_j)$ – коэффициент ползучести в момент времени $t_{i+1/2}$ от постоянного по величине приращения самонапряжения, приложенного в момент времени t_j ;

$\phi(t_{(i-1)+1/2}; t_j)$ – коэффициент ползучести в момент времени $t_{(i-1)+1/2}$ от постоянного по величине приращения самонапряжения, приложенного в момент времени t_j .

Из совместного решения (2) и (1), приращение связанной относительной деформации расширения $(\Delta\varepsilon_r)_i$ на произвольном i -ом элементарном временном интервале:

$$(\Delta\varepsilon_r)_i = (\Delta\varepsilon_{CE,f})_i - (\Delta\sigma_c)_i \cdot J(t_{i+1/2}; t_i) - \sum_{j=1}^{i-1} \left[(\Delta\sigma_c)_j \cdot \frac{\Delta\phi(t_i; t_j)}{E_{cm,t28}} \right] - \frac{\sum_{j=1}^{i-1} \left[\frac{(\Delta\sigma_c)_j}{E_c(t_j)} \right] \cdot E_{c,av}(t_{(i-1)+1/2})}{E_c(t_{(i-1)+1/2})}. \quad (3)$$

При симметричном армировании приращение самонапряжения на i -ом элементарном временном интервале определяют по формуле:

$$(\Delta\sigma_c)_i = (\Delta\varepsilon_r)_i \cdot E_r \cdot \rho_l, \quad (4)$$

где E_r – модуль упругости связи, ограничивающей деформации свободного расширения напрягающего бетона;

ρ_l – коэффициент продольного армирования бетонного сечения.

Подставляя (4) в (3), получаем:

$$(\Delta\varepsilon_r)_i = (\Delta\varepsilon_{CE,f})_i - (\Delta\varepsilon_r)_i \cdot E_r \cdot \rho_l \cdot J(t_{i+1/2}; t_i) - \\ - \sum_{j=1}^{i-1} \left[(\Delta\sigma_c)_j \cdot \frac{\Delta\phi(t_i; t_j)}{E_{cm,t28}} \right] - \frac{\sum_{j=1}^{i-1} \left[\frac{(\Delta\sigma_c)_j}{E_c(t_j)} \right] \cdot E_{c,aw}(t_{(i-1)+1/2})}{E_c(t_{(i-1)+1/2})}. \quad (5)$$

Из решения уравнения (5), определяют приращение связанной относительной деформации расширения напрягающего бетона $(\Delta\varepsilon_r)_i$ на произвольном i -ом элементарном временном интервале, а затем по формуле (4) рассчитывают приращение сжимающих напряжений в бетоне (самонапряжений) на рассматриваемом i -ом элементарном временном интервале $(\Delta\sigma_c)_i$.

В свою очередь величину результирующего самонапряжения, достигнутого к концу i -ого элементарного временного интервала $(\sigma_c)_i$ рассчитывают как сумму приращений самонапряжения на временных интервалах $j \in [1; i]$:

$$(\sigma_c)_i = \sum_{j=1}^i (\Delta\sigma_c)_j.$$

В рассматриваемой модели функция ползучести принята в традиционном виде в соответствии с [13]:

$$J(t_{i+1/2}; t_j) = \frac{1}{E_c(t_j)} + \frac{\phi(t_{i+1/2}; t_j)}{E_{cm,t28}}.$$

Значения модуля упругости напрягающего бетона при сжатии $E_c(t_i)$ в раннем возрасте предложено рассчитывать по зависимости (6) из [14]:

$$E_c(t_i) = E_{cm,t28} \cdot \exp \left[s \left(1 - \left(\frac{t_{m,28} - a}{t - a} \right) \right) \right], \quad (6)$$

где s – эмпирический коэффициент, учитывающий тип цемента; для дальнейших расчётов в рамках данного исследования было принято $s=0,11$ для применённого напрягающего цемента;

a – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние сроков схватывания цемента; для дальнейших расчётов в рамках данного исследования было принято $a=0,2$;

$t_{m,28}$ – модифицированный возраст напрягающего бетона, соответствующий 28-и суткам реального возраста;

t – модифицированный возраст напрягающего бетона, соответствующий t_i суткам реального возраста, к моменту достижения которого определяется величина модуля упругости.

Модифицированный возраст напрягающего бетона $t(t_i)$, соответствующий t_i суткам реального возраста и скорректированный с учётом температурного режима, регистрируемого на стадии твердения и расширения напрягающего бетона в раннем возрасте, определяли по формуле (7), предложенной в [14]:

$$t(t_i) = \sum_{j=1}^n \Delta t_j \cdot \exp \left[13,65 - \frac{4000}{273 + T(\Delta t_j) / T_0} \right], \quad (7)$$

где Δt_j – временной интервал (в сутках) с одинаковой температурой $T(\Delta t_j)$ (°C);

$$T_0 = 1^\circ\text{C}.$$

Для определения величины коэффициента ползучести $\phi(t, t_0)$ в раннем возрасте в предложенной аналитической модели была принята следующая зависимость, базирующаяся на концепции, предложенной в [13]:

$$\phi(t, t_0) = \phi_0 \left[\frac{t - t_0}{\beta_H + (t - t_0)} \right]^{0,3},$$

где ϕ_0 – базовый коэффициент ползучести, определяемый для бетона в раннем возрасте:

$$\phi_0 = 5,31 \left(\frac{E_c(t_0)}{E_{cm,t28}} - 1,0 \right)^2 + 1,11 \quad (\text{здесь, } E_c(t_0) \text{ – модуль упругости напрягающего бетона в мо-}$$

дифицированном возрасте, соответствующем реальному возрасту напрягающего бетона t_0 в момент приложения приращения самонапряжения, и определяемый по формуле (6);

t – модифицированный возраст напрягающего бетона, соответствующий реальному возрасту, в котором определяют значение коэффициента ползучести;

t_0 – модифицированный возраст напрягающего бетона, соответствующий реальному возрасту бетона в момент приложения приращения самонапряжения;

β_H – коэффициент, характеризующий влияние на интенсивность развития ползучести возраста напрягающего бетона в момент приложения приращения самонапряжения, определяемый по следующим зависимостям: $\beta_H = 0,000001$, если $0 \leq \frac{E_c(t)}{E_{cm,t28}} < 0,346$ и

$$\beta_H = 40,5 \cdot \left(\frac{E_c(t)}{E_{cm,t28}} - 0,346 \right) + 0,485, \quad \text{если } 0,346 \leq \frac{E_c(t)}{E_{cm,t28}} < 1,0 \quad (E_c(t) \text{ – модуль упругости}$$

напрягающего бетона в модифицированном возрасте, соответствующем реальному возрасту напрягающего бетона t , и определяемый по формуле (6)).

2.4. Случай одноосного несимметричного расположения ограничивающих связей конечной жёсткости

Схема распределения по высоте сечения элемента связанных деформаций расширения в условиях одноосного несимметричного расположения связей конечной жёсткости на произвольном i -ом элементарном временном интервале представлена на рисунке 3.

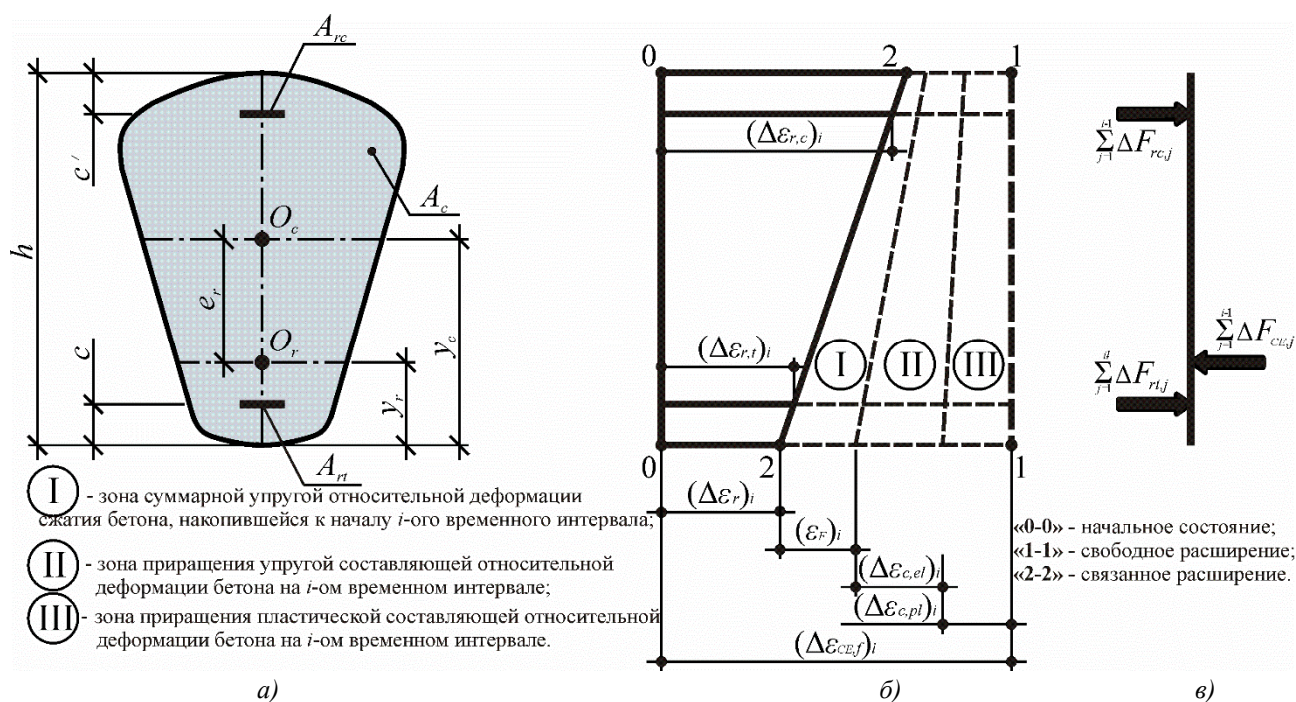


Рисунок 3 – Схема распределения деформаций (б) и усилий (в) в сечении (а) самонапряжённого бетонного элемента в условиях одноосного несимметричного расположения связей конечной жёсткости на произвольном i -ом элементарном временном интервале

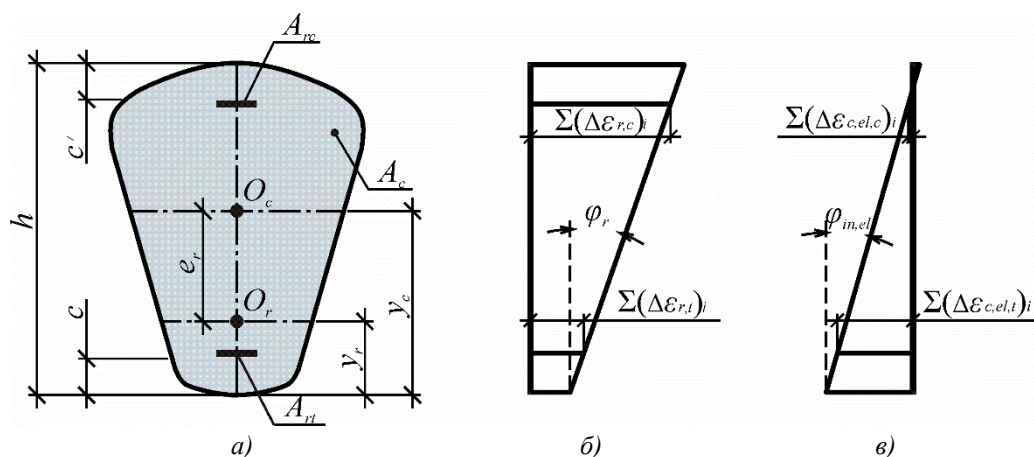
При несимметричном расположении ограничивающих связей конечной жёсткости (см. рисунок 3) система базовых уравнений для расчёта приращений связанной относительной деформации расширения напрягающего бетона на уровне верхней $(\Delta\varepsilon_{r,c})_i$ и нижней $(\Delta\varepsilon_{r,t})_i$ арматуры на произвольном i -ом временном интервале имеет вид:

$$\left\{ \begin{aligned} (\Delta\varepsilon_{r,c})_i &= (\Delta\varepsilon_{c,e,f})_i + (\Delta\varepsilon_{c,el,c})_i + (\Delta\varepsilon_{c,pl,c})_i + \frac{\sum_{j=1}^{i-1} \left[\frac{(\Delta\sigma_{c,c})_j}{E_c(t_j)} \right] \cdot E_{cc,aw}(t_{(i-1)+1/2})}{E_c(t_{(i-1)+1/2})} \\ (\Delta\varepsilon_{r,t})_i &= (\Delta\varepsilon_{c,e,f})_i + (\Delta\varepsilon_{c,el,t})_i + (\Delta\varepsilon_{c,pl,t})_i + \frac{\sum_{j=1}^{i-1} \left[\frac{(\Delta\sigma_{c,t})_j}{E_c(t_j)} \right] \cdot E_{ct,aw}(t_{(i-1)+1/2})}{E_c(t_{(i-1)+1/2})} \end{aligned} \right. \quad (8)$$

Расшифровка обозначений, принятых в уравнениях системы (8) приведена в пояснениях к формуле (1).

Из решения базовых уравнений определяют величину связанных относительных деформаций расширения напрягающего бетона, а также величину его упругой относительной деформации сжатия на каждом из рассматриваемых элементарных временных интервалов. Результирующую величину деформации определяют суммированием её приращений по всем элементарным временным интервалам. Схемы распределения суммарных связанных относительных деформаций расширения, а также упругих относительных деформаций сжатия

напрягающего бетона по высоте сечения, определяемые по предложенной модифицированной модели на произвольном i -ом временном интервале представлены на рисунке 4.



а) – схема сечения; б) – распределение связанной относительной деформации по высоте сечения; в) – распределение упругой относительной деформации сжатия напрягающего бетона по высоте сечения

Рисунок 4 – Схемы распределения суммарных относительных деформаций по высоте сечения самонапряжённого бетонного элемента в условиях одноосного несимметричного расположения связей конечной жёсткости

3. Экспериментальные исследования

3.1. Методика проведения экспериментальных исследований

3.1.1. Опытные образцы

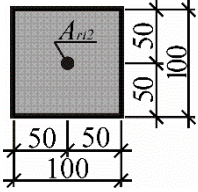
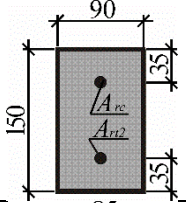
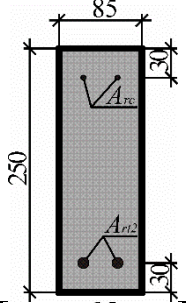
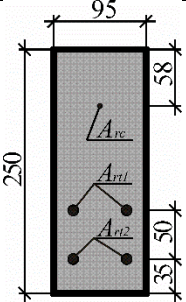
В рамках экспериментальных исследований были изготовлены в лабораторных условиях 7 серий образцов из напрягающего бетона со следующими варьируемыми параметрами:

- продольная осевая жесткость связей, ограничивающих расширение напрягающего бетона, заданная различными по величине коэффициентами армирования сечения $\rho_{l,r}$ и модулями упругости материала (стальные стержни и стержни из полимерного композита);
- расположение ограничивающих связей в сечении бетонного элемента (симметричное/несимметричное);
- энергетическая характеристика (величина самонапряжения в стандартных условиях [15]) напрягающего бетона.

Результаты измерения связанных деформаций, полученные на опытных образцах-призмах серий I-III (с симметричным армированием калиброванными стальными тяжами), были использованы для верификации положений предлагаемой модифицированной деформационной модели (см. раздел 2). Результаты, полученные при испытаниях опытных образцов-балок серий IV-VII на стадии самонапряжения и на стадии статических испытаний, применяли как для верификации положений предлагаемой модифицированной деформационной модели, так и для оценки влияния исходного напряжённо-деформированного состояния от расширения напрягающего бетона при различных условиях ограничения собственных деформаций на сопротивление элемента при статическом нагружении.

Краткая программа экспериментальных исследований представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Краткая программа экспериментальных исследований

Серия	Обозначение образца	Эскиз сечения образца	Армирование образца			
			A_{rc} , мм ²	A_{r1} , мм ²	A_{r2} , мм ²	$\rho_{l,r}$, %
I-III	х-ПСС-(1...3)		без ограничивающих связей			
	х-ПСС-(4,5)		—	—	$\frac{1\emptyset 8}{37,0}$	0,37
	х-ПСС-(6)		—	—	$\frac{1\emptyset 12}{82,0}$	0,82
	х-ПСС-(7,8)		—	—	$\frac{1\emptyset 18}{179,0}$	1,79
IV-V	х-БКС-(1,2)		$\frac{1\emptyset 10}{99,5}$	—	$\frac{1\emptyset 10}{99,5}$	1,47
VI	х-БСН-(1...4)		$\frac{2\emptyset 4}{25,1}$	—	$\frac{2\emptyset 10}{157,0}$	0,86
VII	х-БКН-(1,2)		$\frac{1\emptyset 4}{13,7}$	$\frac{2\emptyset 10}{143,5}$	$\frac{2\emptyset 10}{143,5}$	1,27
	х-БКН-(3)		$\frac{1\emptyset 4}{13,7}$	$\frac{2\emptyset 10}{143,5}$	$\frac{2\emptyset 14}{330,5}$	2,05

Примечания: В таблице приняты следующие обозначения при маркировке образцов: х – номер серии образцов (I...VII); первая буква – вид образца («П» – призма; «Б» – балка); вторая буква – вид армирования («С» – стальная арматура; «К» – композитные стержни); третья буква – расположение армирования в сечении («С» – симметричное; «Н» – несимметричное); цифра в скобках – порядковый номер образца в серии.

3.1.2. Напрягающий цемент и бетон на его основе

Для приготовления бетонной смеси использовали трёхкомпонентный напрягающий цемент лабораторного помола двух видов: НЦ-АГ (образцы серий I-V) и НЦ-МГ (образцы серий VI-VII). Напрягающий цемент НЦ-АГ состоял из смеси портландцемента (СЕМІ-42,5R), алюминатного цемента с повышенным содержанием активных алюминатов (Al_2O_3), двуводного гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) в соотношении составляющих 80:10:10 по массе соответственно. Для получения напрягающего цемента НЦ-МГ применяли портландцемент (СЕМІ-42,5N), метаксаолин, гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), которые смешивали в соотношении 71:14:15 по массе соответственно. Напрягающий цемент получали совместным перемешиванием составляющих в указанных пропорциях в шаровой мельнице в течение 5-7 мин.

Основные характеристики напрягающего цемента были определены по методикам [16] и [17] и представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные характеристики напрягающего цемента

Вид напрягающего цемента	Характеристики расширения		Прочностные характеристики	
	свободное расширение ε_f , %	самонапряжение $f_{CE,d}$, Н/мм ²	при изгибе f_{flex} , МПа	при сжатии f_{cm} , МПа
НЦ-АГ	2,63	7,9	3,7	30,0
НЦ-МГ	1,21	5,9	4,5	40,8

Примечания: 1. Прочностные характеристики напрягающего цемента в возрасте 28 суток были установлены на образцах, твердевших в свободных условиях (в условиях отсутствия ограничения деформаций свободного расширения).
2. Характеристики расширения указаны для возраста напрягающего цемента 28 суток.

Расход составляющих на 1 м³ бетонной смеси, применённой для изготовления опытных образцов серий I-VII, был принят следующим: цемент напрягающий (НЦ-АГ или НЦ-МГ) – 600 кг; мелкий заполнитель с максимальным размером фракций $d_{max}=8$ мм – 600 кг; крупный заполнитель с максимальным размером фракций $D_{max}=16$ мм – 960 кг; вода – 240 кг (при $w/c=0,4$). Для достижения требуемой консистенции бетонной смеси был применён гиперпластификатор на поликарбоксилатной основе, расход которого составлял в среднем 0,6% и 0,7% по массе цемента для напрягающего бетона серий I-V и серий VI-VII соответственно. Класс консистенции бетонной смеси соответствовал S4 (серия I-V) и S2 (серия VI-VII) согласно [18]. Бетонную смесь приготавливали в бетономешалке принудительного действия, укладывали в формы и уплотняли глубинным вибратором. Опытные образцы серий I-VII распалубливали к моменту достижения напрягающим бетоном прочности при сжатии не менее 7,0 МПа (см. таблицу 3). Непосредственно после распалубливания опытные образцы всех серий помещали в водные условия, где они хранились вплоть до момента стабилизации процесса расширения напрягающего бетона.

Основные характеристики напрягающего бетона, применённого для изготовления опытных образцов серий I-VII приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные характеристики напрягающего бетона

Серия напрягающего бетона	Прочность при сжатии к моменту распалубливания образцов $f_{cm,0}$, МПа	Характеристики расширения к моменту стабилизации		Механические характеристики в возрасте 28 суток	
		Относительная деформация свободного расширения $\varepsilon_{CE,f}$, %	Самонапряжение $f_{CE,d}$, МПа	Прочность при сжатии f_{cm} , МПа	Модуль упругости при сжатии $E_{cm,t28}$, МПа
I	9,0	0,17	1,6	64,5	33,2
II	8,8	0,23	2,0	64,5	31,1
III	8,0	0,23	2,0	65,9	32,2
IV	7,0	0,34	2,3	36,4	28,9
V	7,6	0,35	2,4	43,9	29,5
VI	7,3	0,44	2,4	30,9	26,3
VII	10,1	0,55	2,8	27,8	25,7

Примечания: 1. Относительная деформации свободного расширения $\varepsilon_{CE,f}$ была установлена на свободных образцах напрягающего бетона;
2. Самонапряжение $f_{CE,d}$ было определено в стандартных условиях при $r_{1,r}=1\%$ [15];
3. Прочность при сжатии была установлена в соответствии с [19];
4. Модуль упругости при сжатии был установлен на образцах-цилиндрах ($\varnothing=150$ мм, $h=300$ мм).

3.1.3. Армирование опытных образцов

Для ограничения деформаций свободного расширения напрягающего бетона в качестве продольного армирования опытных образцов использовали калиброванные стальные тяжи (серии I-III), стальную арматуру периодического профиля (серия VI), композитные стержни (серии IV, V, VII). Основные характеристики стального армирования и композитных стержней представлены в таблице 4 и таблице 5 соответственно.

Таблица 4 – Основные характеристики стального армирования

Номинальный диаметр, мм	Серия	f_{ym} (f_{pm}^*), МПа	E_{sm} , ГПа
4	VI	573,2	200,0
8	I-III	881,0*	191,0
10	VI	627,7	200,0
12	I-III	930,0*	194,0
18	I-III	1019,0*	191,7

Примечание: Звёздочкой (*) помечены средние значения условного предела текучести стали калиброванных тяжей.

Таблица 5 – Основные характеристики композитных стержней

Номинальный диаметр, мм	Серия	Тип армирующего волокна	Фактический диаметр, мм	Модуль упругости E_{fgrm} , ГПа	Прочность при растяжении f_{fgrm} , МПа	Предельная растяжимость ε_{fgrm} , %
5	VII	Базальтовое	4,2	51,5	1 262	2,45
10	IV-V	Стекловолокно	11,26	45,7	1 192	2,61
10	VII	Стекловолокно	9,6	45,2	1 027	2,27
14	VII	Стекловолокно	14,5			

3.2. Результаты экспериментальных исследований и верификация модифицированной деформационной модели на фоне опытных данных

Как видно из графиков, представленных на рисунках 5–8, развитие связанных относительных деформаций расширения напрягающего бетона во времени зависело от соотношения кинетики набора прочности и деформаций свободного расширения для напрягающего бетона, применённого для изготовления опытных образцов рассматриваемой серии.

Так, у опытных образцов серий I-III, а также серии VI (образцы VI-БСН-(1) и VI-БСН-(2)) и серии VII максимальное суточное приращение как свободной, так и связанной деформации расширения, наблюдали в первые и вторые (для образцов серии VII) сутки с последующим его затуханием вплоть до стабилизации процесса расширения (см. рисунки 5 – 6, рисунок 7 а)). В данном случае интенсивное расширение бетона в первые сутки было обусловлено отставанием темпов набора прочностных и соответственно жесткостных характеристик структуры композита по отношению к кинетике расширения. Однако при дальнейшем твердении напрягающего бетона баланс между расширением и набором прочности восстанавливался, жесткость структуры увеличивалась и на последующих временных интервалах приращение связанной деформации постепенно уменьшалось вплоть до стабилизации процесса расширения.

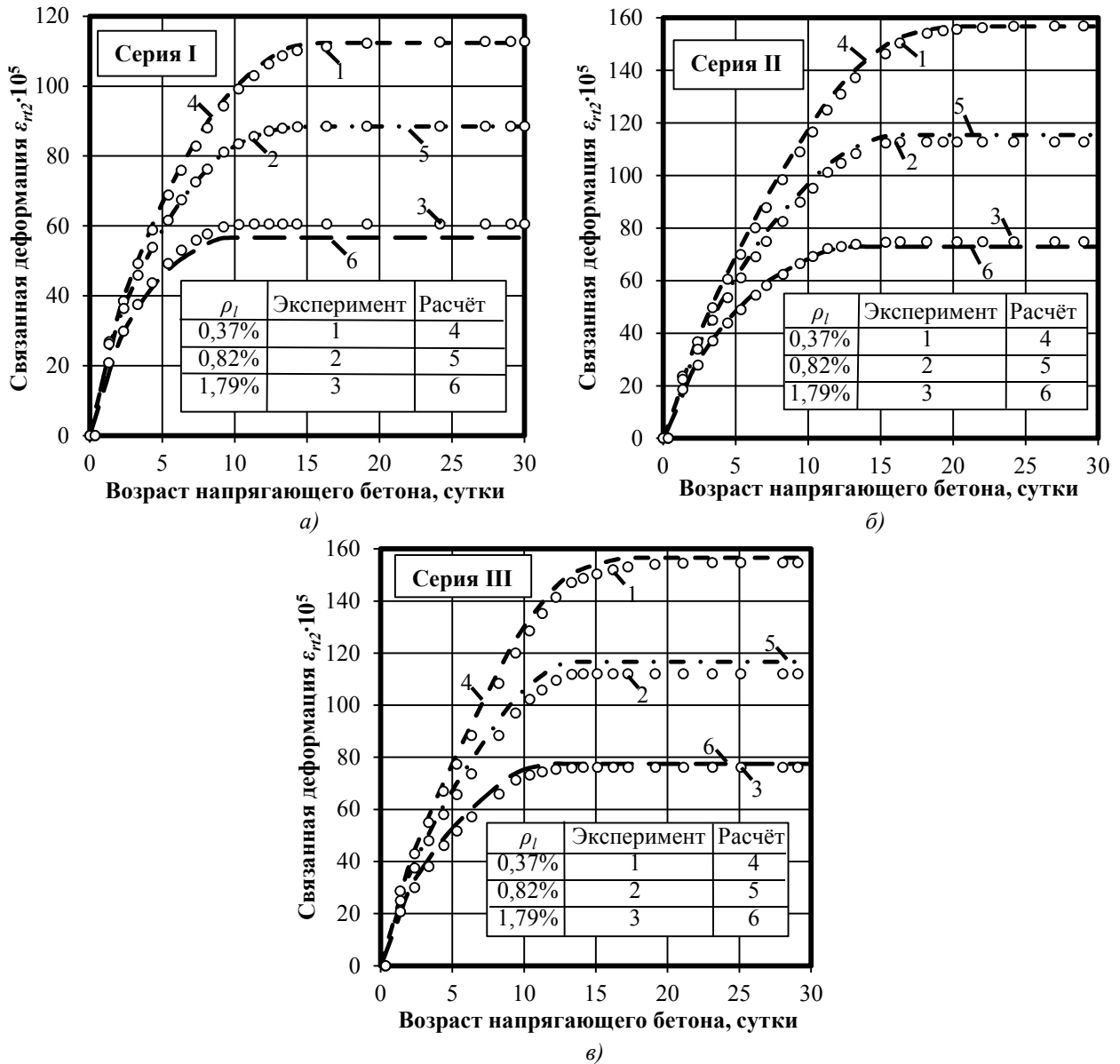


Рисунок 5 – Графики развития связанных относительных деформаций расширения напрягающего бетона опытных образцов-призм серий I-III

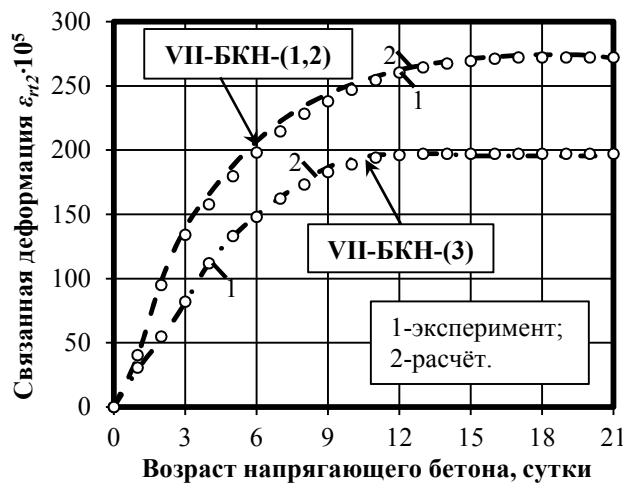


Рисунок 6 – Графики развития связанных относительных деформаций расширения напрягающего бетона опытных образцов-балок серии VII

В то же время в образцах серии VI (образцы VI-БСН-(3) и VI-БСН-(4)) наблюдали уменьшение величины суточного приращения деформаций как свободного, так и связанного расширения по сравнению с наблюдавшимся в первые сутки. Однако в возрасте напрягающего бетона 4 суток фиксировали постепенное увеличение суточного приращения деформаций расширения вплоть до некоторого максимального значения (в возрасте напрягающего бетона 9 суток), практически равного по своей величине суточному приращению деформаций расширения за первые сутки, а затем – постепенное затухание суточных приращений деформации расширения вплоть до момента стабилизации процесса расширения. Выявленные эффекты связаны с плавным набором прочности (что подтверждалось испытаниями контрольных образцов-кубов в раннем возрасте) при преобладающем процессе расширения. Однако при достижении пиковой точки на графике, показывающем развитие связанных деформаций расширения (см. рисунок 7 б)), формирование этtringита в напрягающем цементе как «источника расширения» замедлялось на фоне возрастающих жесткостных характеристик структуры композита при достигнутой прочности и соответственно модуле упругости.

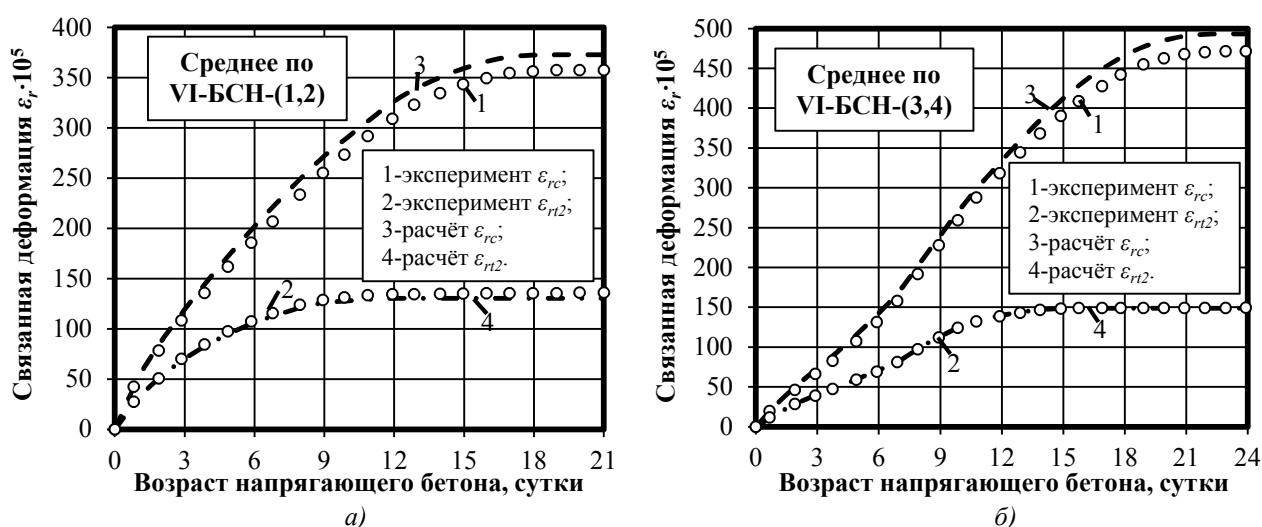


Рисунок 7 – Графики развития связанных относительных деформаций расширения напрягающего бетона опытных образцов-балок серии VI

Зафиксированные к моменту стабилизации процесса расширения величины связанных относительных деформаций на уровне ограничивающих связей, а также соответствующие им значения самонапряжения напрягающего бетона обобщены в таблице 6 и таблице 7.

Таблица 6 – Связанные относительные деформации и самонапряжения напрягающего бетона

	Серия I (I-ПСС-...)			Серия II (II-ПСС-...)			Серия III (III-ПСС-...)		
	(4,5)	(6)	(7,8)	(4,5)	(6)	(7,8)	(4,5)	(6)	(7,8)
Связанная относительная деформация на уровне ограничения $\varepsilon_{r12} \cdot 10^5$	$\frac{0,113}{0,112}$	$\frac{0,089}{0,086}$	$\frac{0,062}{0,057}$	$\frac{0,157}{0,156}$	$\frac{0,113}{0,115}$	$\frac{0,075}{0,073}$	$\frac{0,152}{0,157}$	$\frac{0,112}{0,117}$	$\frac{0,076}{0,078}$
	$\frac{0,84}{0,83}$	$\frac{1,45}{1,41}$	$\frac{2,19}{2,04}$	$\frac{1,17}{1,15}$	$\frac{1,84}{1,89}$	$\frac{2,69}{2,61}$	$\frac{1,14}{1,16}$	$\frac{1,83}{1,92}$	$\frac{2,73}{2,79}$
Самонапряжение на уровне центра тяжести бетонного сечения σ_{CE} , МПа									

Примечания: В таблице в числителе указаны экспериментальные данные; в знаменателе – величины, полученные по результатам расчёта в соответствии с предложенной модифицированной деформационной моделью.

Как следует из полученных результатов, к моменту стабилизации расширения напряжения в ограничивающей стальной арматуре (A_{r2} – см. таблицу 1) составляли: для образцов серий I-III – от 119 до 300 МПа или от 12 до 34% от среднего значения условного предела текучести (f_{pm}) в зависимости от коэффициента армирования сечения; для опытных образцов балок серии VI – от 256 до 308 МПа или от 41 до 49% от среднего значения физического предела текучести (f_{ym}). Следует отметить, что в балках серии VI связанные деформации конструктивной арматуры (A_{rc} – см. таблицу 1) превысили относительные деформации, соответствующие физическому пределу текучести (см. рисунок 7 и таблицу 7). В случае применения композитной арматуры напряжения в ней составили от 86 до 165 МПа или от 7,2 до 16,1% от кратковременной прочности при разрыве (f_{rpm}).

Таблица 7 – Связанные относительные деформации и самоупругивания напрягающего бетона

	Серия IV (IV-БКС-...)	Серия V (V-БКС-...)	Серия VI (VI-БСН-...)		Серия VII (VII-БКН-...)	
	(1,2)	(1,2)	(1,2)	(3,4)	(1,2)	(3)
Связанная относительная деформация на уровне ограничения ε_{r2} , %	$\frac{0,197}{0,262} \left(\frac{0,143}{0,149} \right)$	$\frac{0,199}{0,260} \left(\frac{0,143}{0,157} \right)$	$\frac{0,136}{0,130}$	$\frac{0,150}{0,149}$	$\frac{0,272}{0,270}$	$\frac{0,197}{0,195}$
Связанная относительная деформация на уровне ограничения ε_{rc} , %	$\frac{0,199}{0,262} \left(\frac{0,139}{0,149} \right)$	$\frac{0,189}{0,260} \left(\frac{0,135}{0,157} \right)$	$\frac{0,357}{0,373}$	$\frac{0,471}{0,494}$	$\frac{0,518}{0,537}$	$\frac{0,429}{0,440}$
Самоупругивание на уровне центра тяжести бетонного сечения σ_{SE} , МПа	$\frac{1,35}{1,77} \left(\frac{0,96}{1,01} \right)$	$\frac{1,32}{1,76} \left(\frac{0,96}{1,06} \right)$	$\frac{2,85}{2,80}$	$\frac{3,32}{3,36}$	$\frac{1,85}{1,82}$	$\frac{2,10}{1,99}$

Примечания: 1. В таблице в числителе указаны экспериментальные данные; в знаменателе – величины, полученные по результатам расчёта в соответствии с предложенной модифицированной деформационной моделью;
2. Для опытных образцов-балок серий IV-V значения перед скобками относятся к экспериментальным и расчётным данным к 28 суткам водного хранения напрягающего бетона; значения в скобках – к экспериментальным и расчётным данным к 19 суткам водного хранения напрягающего бетона.

Следует отметить, что достигнутая величина начальных напряжений в стержнях из полимерного композита находится в соответствии с требованиями [20]. Так, рекомендации [20], ограничивают величину суммарных напряжений в композитной арматуре при действии эксплуатационных нагрузок на уровне $\sigma \leq 0,24 \cdot f_{rpm}$ с учётом начальных напряжений, полученных на стадии предварительного напряжения. Данное требование сформулировано исходя из ограничения деформаций ползучести полимерного композита при длительном действии нагрузки. Учитывая то обстоятельство, что в силу низкого модуля упругости композитной арматуры прирост её напряжений к моменту образования трещин является незначительным, начальные напряжения на стадии расширения могут достигать $\sigma \approx 0,2 \cdot f_{rpm}$, что установлено в качестве требования для механического натяжения композитной арматуры в нормах [10]. Таким образом, полученный результат свидетельствует о эффективности создания предварительного напряжения композитной арматуры физико-химическим способом.

Следует подчеркнуть, что проведенные исследования для элементов с резко несимметричным армированием подтвердили принятую в расчётной модели гипотезу о линейном распределении связанных деформаций расширения по высоте сечения.

Для фактических условий экспериментальных исследований был выполнен расчёт изменения во времени величины связанной относительной деформации расширения опытных образцов по предложенной модифицированной деформационной модели. При расчётах в качестве временного шага был принят элементарный интервал, эквивалентный 1 суткам.

Сравнение расчётных и опытных значений связанной относительной деформации расширения напрягающего бетона для случая симметричного стального; симметричного композитного; несимметричного стального и несимметричного композитного ограничения деформаций свободного расширения представлено на графиках на рисунках 5–8 соответственно.

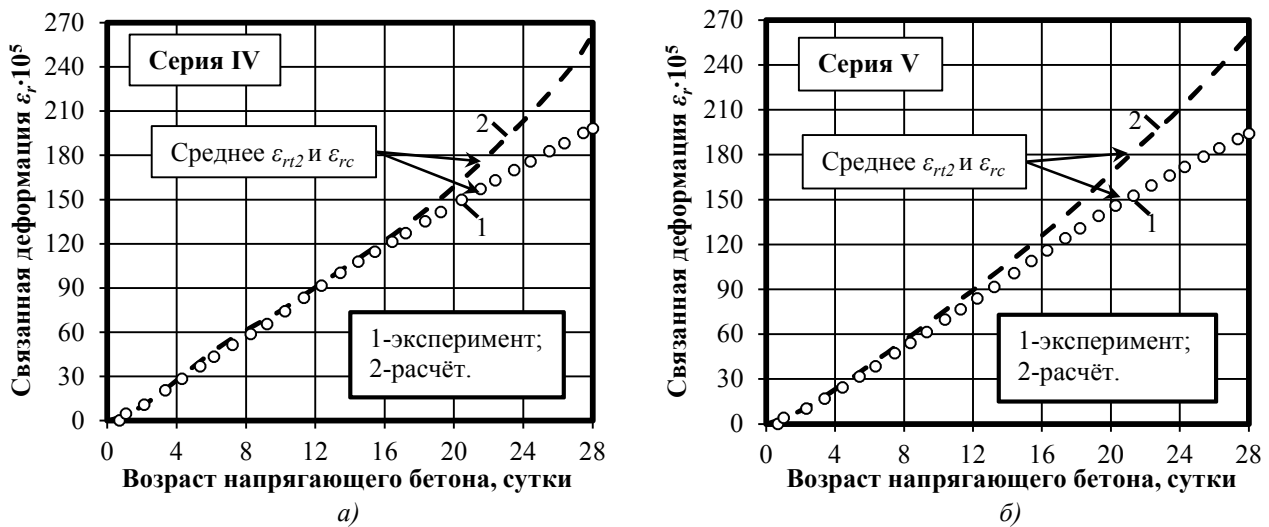


Рисунок 8 – Графики развития связанных относительных деформаций расширения напрягающего бетона опытных образцов-балок серий IV-V

Как видно из графиков, представленных на рисунках 5–8, предложенная модель достаточно точно описывает развитие связанных деформаций расширения напрягающего бетона во времени. Так, отношение суммарной величины связанной относительной деформации на уровне ограничивающей связи, зарегистрированной в ходе экспериментальных исследований к моменту стабилизации расширения, к величине связанной относительной деформации, рассчитанной по предложенной модели, изменяется в диапазоне от 0,91 до 1,05.

Наиболее ощутимое различие экспериментальных и расчётных значений связанной относительной деформации расширения наблюдали для опытных образцов-балок серий IV-V (см. рисунок 8). Рассчитанные в соответствии с предлагаемой модифицированной деформационной моделью величины суточных приращений связанной относительной деформации расширения напрягающего бетона на 1 – 19 итерационных шагах достаточно хорошо совпадают с соответствующими величинами, зафиксированными экспериментально. Однако, как в случае опытных образцов-балок серии IV, так и серии V, после 19-ого итерационного шага наблюдается существенное расхождение расчётных и экспериментальных величин суточных приращений связанных относительных деформаций расширения: расчётные величины существенно превышают экспериментальные. Установленное несовпадение расчётных и опытных данных связано со следующим обстоятельством. В балках серий IV-V на завершающей стадии расширения наблюдали нарушение сцепления по контакту концевого анкера на композитных стержнях с окружающим бетоном, что привело к проскальзыванию этих стержней.

3.3. Статические испытания

Статические испытания опытных образцов-балок серий IV-VII выполняли после стабилизации процесса расширения напрягающего бетона. Нагружение выполняли двумя со-

средоточенными силами, приложенными на расстоянии 400 мм (образцы-балки серий IV, V и VII) и 350 мм (образцы-балки серии VI) от опор.

Основной целью статических испытаний являлась оценка влияния достигнутого самонапряжения на сопротивление элемента при изгибе, в частности, на параметры трещинообразования, характеризующие эффективность физико-химического предварительного напряжения. Графики зависимостей « $M-\varphi$ » и « $M-a$ », полученные на стадии статического нагружения опытных образцов-балок серии VI и серии VII представлены на рисунке 9 и рисунке 10 соответственно. А характерная картина трещинообразования к моменту разрушения опытных образцов балок серии VI и серии VII – на рисунке 11 и рисунке 12 соответственно.

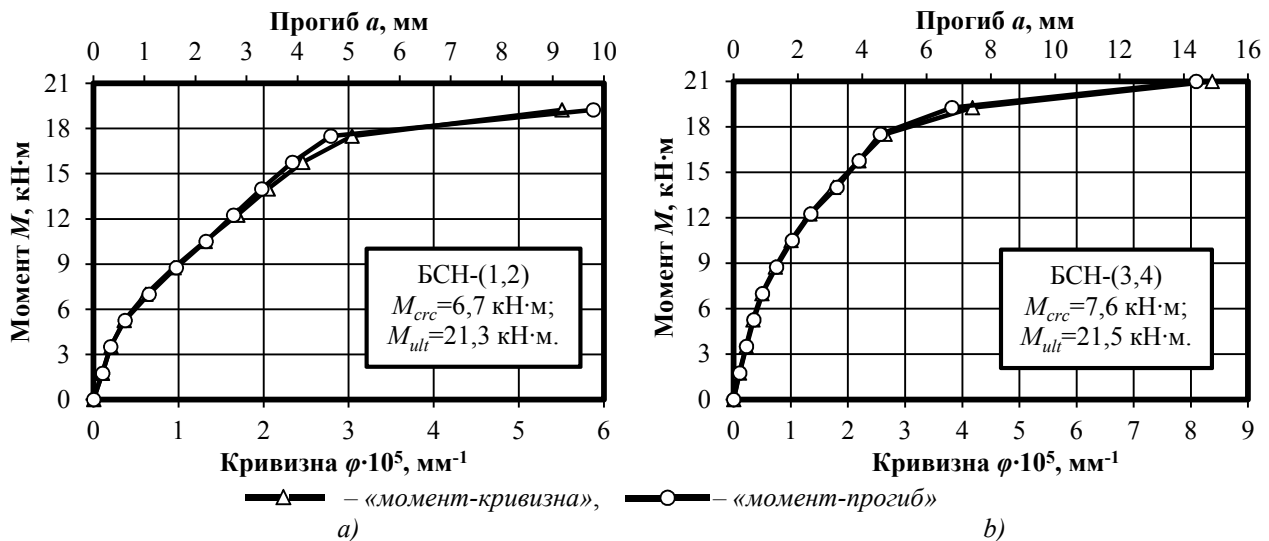


Рисунок 9 – Зависимости « $M-\varphi$ » and « $M-a$ », полученные на стадии статического нагружения опытных образцов-балок серии VI

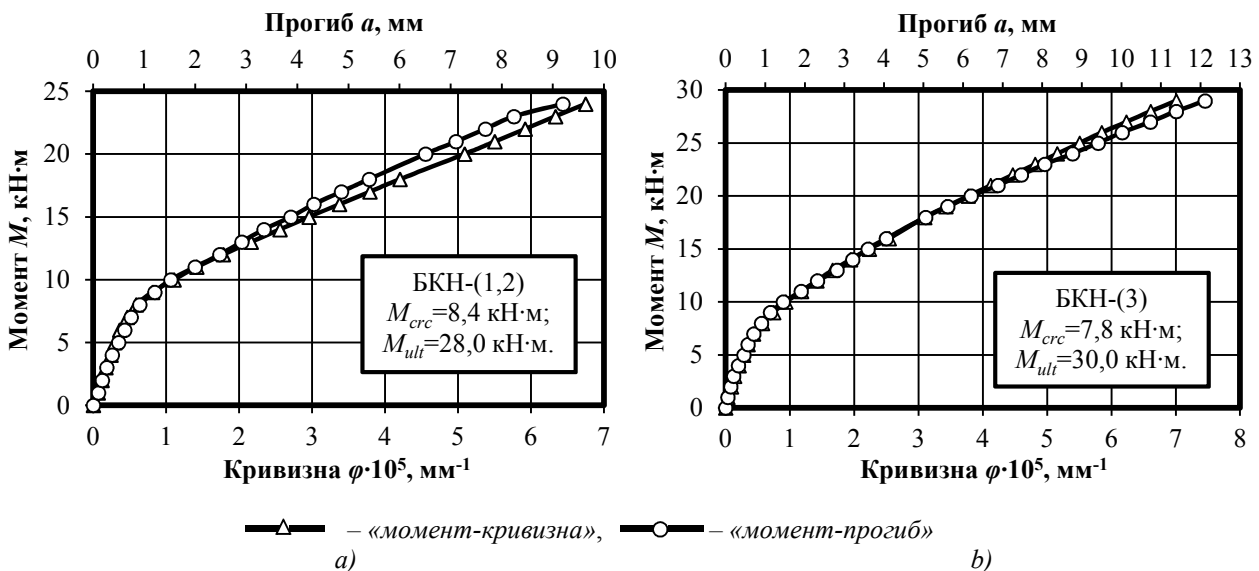


Рисунок 10 – Зависимости « $M-\varphi$ » and « $M-a$ », полученные на стадии статического нагружения опытных образцов-балок серии VII

В процессе нагружения опытных образцов-балок были выявлены характерные стадии, описывающие сопротивление изгибаемого самонапряжённого элемента.

трещины не превышала толщины защитного слоя. При этом, ширина раскрытия трещин на уровне арматуры наиболее растянутого ряда составила 0,1 мм. По мере увеличения нагрузки наблюдали развитие трещин как по высоте сечения, так и увеличение их количества по длине элемента, что приводило к более ощутимому изменению изгибной жёсткости опытных образцов-балок серии VII по сравнению с опытными образцами-балками серии VI. При нагрузке, составлявшей (55-60)% от предельной в зависимости от образца, наблюдали стабилизацию трещинообразования на длине элемента. На данном этапе образовалось в среднем $N=8$ трещин нормального отрыва, располагавшихся примерно на равных расстояниях, что определило длину блока около 100 мм, а средняя и максимальная ширина раскрытия трещин в среднем по серии составили 0,5 мм и 0,6 мм соответственно. При дальнейшем увеличении нагрузки не происходило образования новых блоков, выделенных трещинами в зоне чистого изгиба, причем высота развития трещин нормального отрыва оставалась практически постоянной вплоть до этапа, предшествующего разрушению. Вместе с тем наблюдали увеличение ширины раскрытия трещин нормального отрыва (максимальная ширина раскрытия к моменту разрушения не превышала 0,8 мм). При нагрузке, составлявшей 60% от предельной, трещины, образовавшиеся в растянутой грани сечений, расположенных вне зоны чистого изгиба, изменяли своё направление и переходили в наклонные, а при нагрузке, составлявшей $\approx 84\%$ от предельной, образовывалась критическая диагональная трещина первого рода, ориентированная по направлению от опоры к точке приложения сосредоточенной силы и имевшая наклон к продольной оси элемента под углом, близким к 45° . Разрушение опытных образцов-балок VII-БКН-(2) и VII-БКН-(1,3) происходило при нагрузке $P=130$ кН и $P=150$ кН соответственно по диагональной трещине. Следует отметить, что в опытном образце-балке VII-БКН-(2) на этапах, близких к разрушению, наблюдали образование горизонтальных трещин на уровне наиболее растянутого ряда арматуры в локальных зонах на длине блока, выделенного трещинами вне зоны чистого изгиба. Учитывая то обстоятельство, что в данной балке были зафиксированы наибольшие значения связанных деформаций расширения напрягающего бетона, такая форма разрушения объясняется нарушением сцепления композитной арматуры на приопорных участках, что привело к разрушению по диагональной полосе, сопровождавшимся проскальзыванием продольного растянутого стержня. В остальных балках данной серии, в которых были зафиксированы меньшие величины деформаций связанного расширения, подобные эффекты не наблюдали и при аналогичной величине нагрузки разрушение по диагональной трещине не происходило.

Во всех испытанных опытных образцах-балках серии VII предельные деформации композитной арматуры не были достигнуты, в то время как деформации сжатого бетона достигали предельных значений. Как и в случае традиционных элементов, армированных полимерными композитами, на графиках, показывающих зависимости « $M-\varphi$ » и « $M-a$ » (см. рисунок 10) не наблюдали ветви пластического деформирования, разрушение балок происходило хрупко. Такой характер разрушения в общем случае отвечает требованиям по проектированию балок с композитным армированием.

Результаты статических испытаний на этапе до образования трещин использовали для установления величины начальных упругих деформаций сжатия напрягающего бетона для последующего сравнения с соответствующими деформациями, полученными расчётом по предложенной модифицированной деформационной модели, принимая гипотезу о том, что их величина соответствует деформации декомпрессии при приложении статической нагрузки.

Значения относительных деформаций и изгибающих моментов, характеризующих стадию декомпрессии опытных образцов-балок серий IV-V, представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Значения относительных деформаций и изгибающих моментов, характеризующих стадию декомпрессии опытных образцов-балок серий IV-V

Обозначение балки	Деформация декомпрессии ε_{dec} , ‰		(3)/(2)	Моменты M , кН·м		(5)/(6)
	$\varepsilon_{dec,a}$	$\varepsilon_{dec,e}$		M_{dec}	M_{crc}	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
IV-БКС-(1)	0,062	0,053	0,85	0,85	1,70	0,50
IV-БКС-(2)	0,055	0,048	0,87	0,72	1,80	0,40
V-БКС-(1)	0,053	0,054	1,02	0,76	1,86	0,41
V-БКС-(2)	0,045	0,052	1,16	0,64	1,89	0,34

Примечание: 1. $\varepsilon_{dec,a}$ – экспериментальное значение относительной деформации декомпрессии; $\varepsilon_{dec,e}$ – упругая относительная деформация сжатия напрягающего бетона, рассчитанная по предложенной модели.
2. M_{dec} – экспериментальное значение момента декомпрессии; M_{crc} – момент трещинообразования;

Для опытных образцов-балок серий VI-VII деформации декомпрессии определяли на уровне центра тяжести растянутой арматуры при совместном рассмотрении модифицированной диаграммы « $M-\varphi$ », описывающей изменение кривизны элемента при его работе под нагрузкой с учётом начальной «упругой» кривизны балки $\varphi_{in,el}$ (см. рисунок 13 а) и диаграммы « $M-\varepsilon_{r,x}$ », общий вид которой для опытных образцов-балок серий VI-VII представлен на рисунке 13 б) (где: M – величина изгибающего момента от приложенной нагрузки; $\varepsilon_{r,x}$ – величина продольной деформации растяжения, зарегистрированной в процессе статического нагружения на уровне центра тяжести растянутой арматуры). Экспериментальные и расчётные значения параметров диаграммы « $M-\varepsilon_{r,x}$ » (начальный момент обжатия сечения и деформации декомпрессии) опытных образцов-балок серий VI-VII представлены в таблице 9.

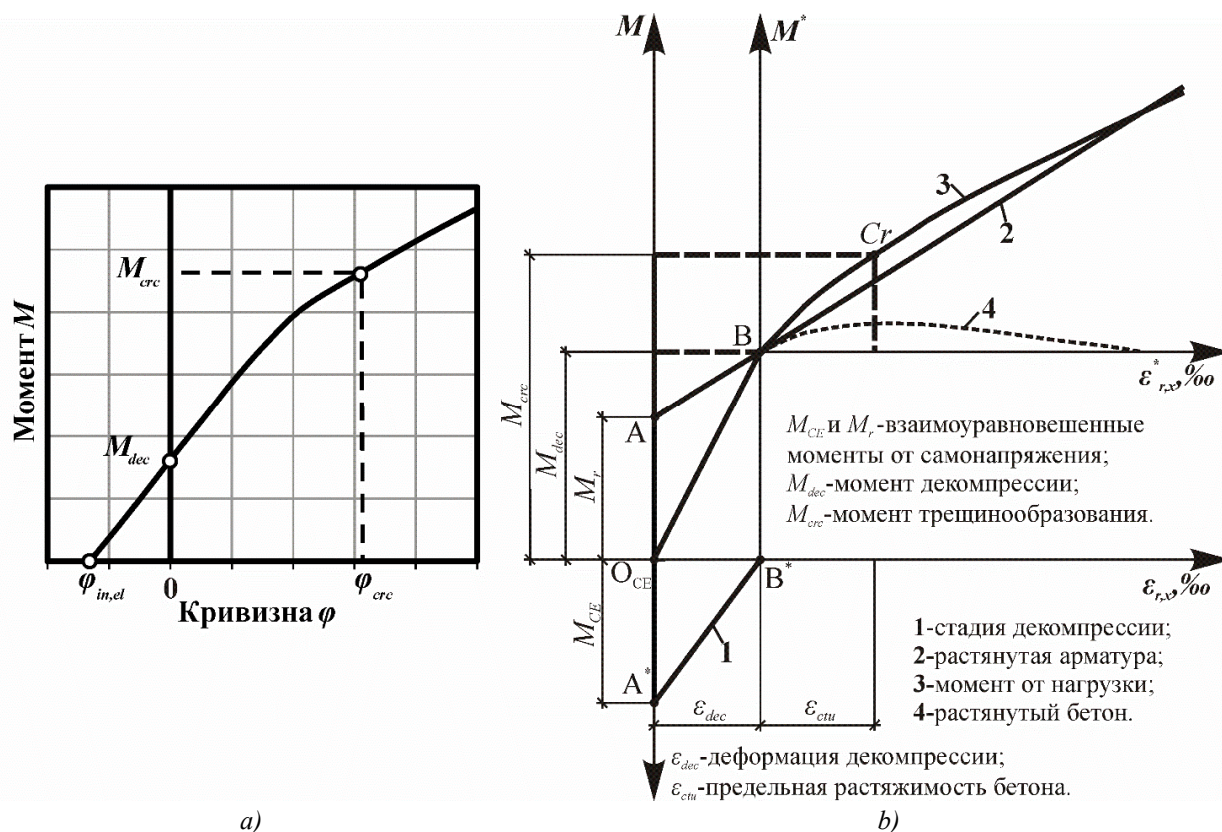


Рисунок 13 – Диаграммы для анализа влияния исходного деформированного состояния на поведение опытного образца-балки под нагрузкой

Таблица 9 – Значения начальных моментов обжатия сечения и деформаций декомпрессии опытных образцов-балок серий VI-VII

Обозначение образца	Момент обжатия M_{CE} , кН·м		(3)/(2)	Деформация декомпрессии ε_{dec} , ‰		(6)/(5)
	$M_{CE,r}$	$M_{CE,a}$		$\varepsilon_{dec,a}$	$\varepsilon_{dec,e}$	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
VI-БСН-(1)	2,50	2,84	1,14	0,189	0,179	1,06
VI-БСН-(2)	2,94	2,83	0,96	0,241	0,207	1,16
VI-БСН-(3)	3,03	3,43	1,13	0,229	0,261	0,88
VI-БСН-(4)	3,30	4,45	1,35	0,312	0,304	1,03
VII-БКН-(1)	2,20	2,67	1,21	0,091	0,103	1,13
VII-БКН-(2)	2,30	2,33	1,01	0,095	0,124	1,31
VII-БКН-(3)	3,09	3,23	1,05	0,101	0,106	1,05

Примечание: 1. $M_{CE,r}$ – начальный момент обжатия от возникшей реакции в ограничении; $M_{CE,a}$ – начальный момент обжатия исходя из анализа диаграммы «М-ε_{г,х}»;
2. $\varepsilon_{dec,a}$ – относительная деформация декомпрессии исходя из анализа диаграммы «М-ε_{г,х}»; $\varepsilon_{dec,e}$ – относительная деформация декомпрессии, соответствующие накопленным в процессе связанного расширения упругим деформациям сжатия напрягающего бетона в соответствии с предлагаемой модифицированной деформационной моделью.

Как показал анализ работы самонапряжённых бетонных элементов с несимметричным расположением как стальных, так и композитных стержней, до погашения в бетоне растянутой зоны сжимающих напряжений всё растягивающее усилие воспринимается арматурными стержнями. При этом наблюдали отличия в поведении элементов, армированных стальными и композитными стержнями. В связи с тем, что модуль упругости полимерного композита существенно ниже по сравнению с модулем упругости стали и приближается по своей величине к модулю упругости бетона, при равной величине относительной деформации на уровне растянутой арматуры усилие, воспринимаемое композитным стержнем значительно меньше по величине по сравнению с соответствующим усилием в стальной арматуре. Таким образом следует ожидать, что величина момента и деформаций декомпрессии будут меньшими у самонапряжённых элементов с композитным армированием по сравнению с элементами со стальным армированием при прочих равных условиях (коэффициент армирования сечения, эксцентриситет расположения арматуры по высоте сечения, величина связанной деформации). Повышение эффективности предварительного напряжения (момента и деформации декомпрессии) элементов с композитным армированием может быть достигнуто только постановкой большей площади армирования в бетонном сечении. Вместе с тем, проведенные испытания показали, что применение композитного армирования в сочетании с напрягающим бетоном позволяет повысить эффективность применения первого в конструктивных элементах. При этом требуемое количество композитного армирования следует определять расчётным путём исходя из задаваемых на стадии проектирования параметров декомпрессии, которые в случае самонапряжённых элементов рассчитываются по предложенной деформационной модели. Как правило такой подход обеспечивает выполнение условия $\rho_{lr} \geq 1,4 \cdot \rho_{frp,bal}$, принятого при проектировании бетонных элементов с композитной арматурой согласно [20]. Кроме того, как следует из сравнения результатов, представленных в таблице 8 и таблице 9, предложенная модель позволяет с достаточной для практических целей точностью рассчитать параметры упругого обжатия бетона на стадии самонапряжения.

4. Выводы

Представлены положения модифицированной деформационной модели («MSDM»), применяемой для расчёта величины связанных относительных деформаций расширения и самонапряжений конструктивных элементов, выполненных из напрягающего бетона с армирующими элементами произвольной жёсткости при любом их расположении в пределах сечения по продольной оси элемента. Результаты верификации предложенной модели на фоне

опытных данных, полученных на стадии самоупругения и на стадии статического нагружения, подтвердили, что данная модель является адекватной, позволяет достоверно описать процесс связанного расширения во времени и может быть применена для прогнозирования параметров самоупругения при проектировании элементов, выполненных из напрягающего бетона. Проведенные исследования показали, что при применении композитной арматуры в сочетании с напрягающим бетоном, повышается эффективность её использования за счёт создания выгодного исходного напряжённо-деформированного состояния. При этом, содержание композитной арматуры в сечении следует устанавливать на основании расчёта исходя из требуемых параметров декомпрессии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang, B. Distributed models of self-stress value in textile-reinforced self-stressing concrete / B. Wang, J. Zhao, Q. Wang. – Construction and Building Materials Journal. №126, 2016. – С. 286 – 296.
2. Tanimura, M. Serviceability performance evaluation of RC flexural members improved by using low-shrinkage high-strength concrete / M. Tanimura, R. Sato, Y. Hiramatsu. – Journal of Advanced Concrete Technology. №2 (5), 2007. – С. 149 – 160.
3. Expansive (self-stressing) cements: in reinforced concrete. Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1976.
4. Расширяющийся и напрягающий цементы и самоупругённые железобетонные конструкции. – М.: Стройиздат, 1974. – 312 с.
5. Tsuji, Y. Methods of estimating chemical prestress and expansion distribution in expansive concrete subjected to uniaxial restraint / Y. Tsuji. – Concrete Library of JSCE. №3, 1984. – С. 131 – 143.
6. Ito, H. Early age deformation and resultant induced stress in expansive high strength concrete / H. Ito, I. Maruyama, M. Tanimura, R. Sato. – Journal of Advanced Concrete Technology. №2 (2), 2011. – С. 155 – 174.
7. Kai-Cheng, X. Confined expansion and bond property of micro-expansive concrete-filled steel tube columns / X. Kai-Cheng, C. Meng-Cheng, Y. Fang. – The Open Civil Engineering Journal. №5, 2011. – С. 173 – 178.
8. Ishikawa, Y. Theoretical development of CP method in predicting expansive cement concrete cracking, Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures / Y. Ishikawa, T. Tanabe. – Recent Advances in Fracture Mechanics of Concrete, 2010. – С. 398 – 405.
9. Тур, В.В. Модели, применяемые для расчёта связанных деформаций и самоупругений в элементах из напрягающего бетона / В.В. Тур, О.С. Семенюк. – Вестник Брестского государственного технического университета: Строительство и архитектура. №1 (97), 2016. – С. 53 – 69.
10. CAN/CSA-S806-02. Design and Construction of Building Components with Fibre-Reinforced Polymers. – Canadian Standards Association. – Toronto, 2002. – 187 с.
11. Nguyen, D.T. Prediction of shrinkage cracking age of concrete with and without expansive additive / D.T. Nguyen, R. Sahamitmongkol, L.N. Trong, S. Tongaroon Sri, S. Tangtermsirikul. – Songklanakarin Journal of Science and Technology. №32 (5), 2010. – С. 469 – 480.
12. Semianiuk, V. Early age strains and self-stresses of expansive concrete members under uniaxial restraint conditions / Semianiuk V., Tur V., Herrador M.F., Paredes M. – Construction and Building Materials Journal. №1 (131), 2016. – С. 39 – 49.
13. *fib* Model Code 2010, Vol. 1. – Federal Institute of Technology Lausanne. – EPFL, Lausanne, March 2010. – 292 с.
14. ТКП EN 1992-1-1-2009. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2010. – 206 с.
15. СТБ 2101-2010. Бетоны напрягающие. Технические условия. – Госстандарт. – Минск, 2011. – 23 с.
16. СТБ 1335-2002. Цемент напрягающий. Технические условия. – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2003. – 14 с.
17. СТБ EN 196-1-2007. Методы испытаний цемента. Часть 1 Определение прочности. – Госстандарт. – Минск, 2007. – 30 с.
18. СТБ EN 206-1-2011. Бетон. Часть 1. Требования, показатели, изготовление и соответствие. – Госстандарт. – Минск, 2012. – 67 с.
19. СТБ EN 12390-3-2012. Методы испытаний бетона. Часть 3. Определение прочности на сжатие испытываемых образцов. – Госстандарт. – Минск, 2013. – 19 с.
20. CNR-DT 203/2006. Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars. – National Research Council. Advisory Committee on Technical Recommendations for Construction. – Rome, June 2007. – 35 с.

Семенюк Ольга Сергеевна

Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь
Магистр технических наук, аспирант кафедры строительных конструкций
E-mail: olgasiemieniuk@gmail.com

Тур Виктор Владимирович

Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии бетона и строительных материалов
E-mail: profturvic@gmail.com

V. SEMIANIUK, V. TUR

RESTRAINED STRAINS AND SELF-STRESSES OF THE SELF-STRESSED CONCRETE MEMBERS IN THE UNIAXIAL RESTRAINT CONDITIONS

Approaches and basic equations of the modified strains development model for the self-stressing concrete restrained expansion strains assessment for the different restraint conditions are presented. Proposed model is realized by the iterative procedure that considers expansion on the elementary time intervals. Modified strains development model was verified based on the results of the experimental studies of the self-stressed concrete members reinforced with steel or FRP bars in the different restraint conditions. Comparison of the predicted and calculated values of the restrained expansion strains has shown a good agreement. Effectiveness of the FRP bars utilizing in combination with self-stressing concrete was confirmed. Obtained during concrete expansion in the restrained conditions initial volumetrical stress-strain state had a fruitful influence on the member resistance under the applied load.

Keywords: *self-stressing concrete; FRP bars; restrained strain; self-stress; decompression.*

BIBLIOGRAPHY

1. Wang, B. Distributed models of self-stress value in textile-reinforced self-stressing concrete / B. Wang, J. Zhao, Q. Wang. – Construction and Building Materials Journal. №126, 2016. – С. 286 – 296.
2. Tanimura, M. Serviceability performance evaluation of RC flexural members improved by using low-shrinkage high-strength concrete / M. Tanimura, R. Sato, Y. Hiramatsu. – Journal of Advanced Concrete Technology. №2 (5), 2007. – С. 149 – 160.
3. Expansive (self-stressing) cements: in reinforced concrete. Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1976.
4. Rasshiryayushchiysya i napryagayushchiy tsementy i samonapryazhonnyye zhelezobetonnyye konstruksii. – М.: Stroyizdat, 1974. – 312 s.
5. Tsuji, Y. Methods of estimating chemical prestress and expansion distribution in expansive concrete subjected to uniaxial restraint / Y. Tsuji. – Concrete Library of JSCE. №3, 1984. – С. 131 – 143.
6. Ito, H. Early age deformation and resultant induced stress in expansive high strength concrete / H. Ito, I. Maruyama, M. Tanimura, R. Sato. – Journal of Advanced Concrete Technology. №2 (2), 2011. – С. 155 – 174.
7. Kai-Cheng, X. Confined expansion and bond property of micro-expansive concrete-filled steel tube columns / X. Kai-Cheng, C. Meng-Cheng, Y. Fang. – The Open Civil Engineering Journal. №5, 2011. – С. 173 – 178.
8. Ishikawa, Y. Theoretical development of CP method in predicting expansive cement concrete cracking, Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures / Y. Ishikawa, T. Tanabe. – Recent Advances in Fracture Mechanics of Concrete, 2010. – С. 398 – 405.
9. Tur, V.V. Modeli, primenyayemye dlya raschota svyazannykh deformatsiy i samonapryazheniy v elementakh iz napryagayushchego betona / V.V. Tur, O.S. Semenyuk. – Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: Stroitel'stvo i arkhitektura. №1 (97), 2016. – С. 53 – 69.
10. CAN/CSA-S806-02. Design and Construction of Building Components with Fibre-Reinforced Poly-mers. – Canadian Standards Association. – Toronto, 2002. – 187 с.
11. Nguyen, D.T. Prediction of shrinkage cracking age of concrete with and without expansive additive / D.T. Nguyen, R. Sahamitmongkol, L.N. Trong, S. Tongaroon Sri, S. Tangtermsirikul. – Songklanakarin Journal of Science and Technology. №32 (5), 2010. – С. 469 – 480.

12. Semianiuk, V. Early age strains and self-stresses of expansive concrete members under uniaxial re-strain conditions / Semianiuk V., Tur V., Herrador M.F., Paredes M. – Construction and Building Materials Journal. №1 (131), 2016. – С. 39 – 49.
13. fib Model Code 2010, Vol. 1. – Federal Institute of Technology Lausanne. – EPFL, Lausanne, March 2010. – 292 с.
14. ТКР EN 1992-1-1-2009. Projektirovaniye zhelezobetonnykh konstruktsiy. Chast' 1-1. Obschchiye pravila i pravila dlya zdaniy. – Ministerstvo arkhitektury i stroitel'stva Respubliki Belarus'. – Minsk, 2010. – 206 s.
15. STB 2101-2010. Betony napryagayushchiye. Tekhnicheskiye usloviya. – Gosstandart. – Minsk, 2011. – 23 s.
16. STB 1335-2002. Tsement napryagayushchiy. Tekhnicheskiye usloviya. – Ministerstvo arkhitektury i stroitel'stva Respubliki Belarus'. – Minsk, 2003. – 14 s.
17. STB YEN 196-1-2007. Metody ispytaniy tsementa. Chast' 1 Opredeleniye prochnosti. – Gosstandart. – Minsk, 2007. – 30 s.
18. STB EN 206-1-2011. Beton. Chast' 1. Trebovaniya, pokazateli, izgotovleniye i sootvetstviye. – Gosstandart. – Minsk, 2012. – 67 s.
19. STB EN 12390-3-2012. Metody ispytaniy betona. Chast' 3. Opredeleniye prochnosti na szhatiye ispytyvayemykh obraztsov. – Gosstandart. – Minsk, 2013. – 19 s.
20. CNR-DT 203/2006. Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars. – National Research Council. Advisory Committee on Technical Recommendations for Construction. – Rome, June 2007. – 35 с.

V. Semianiuk

Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus
M. Sc. Eng., PhD student of the Department of Building Structures
E-mail: olgasiemieniuk@gmail.com

V. Tur

Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus
D. Sc. Eng., Professor, Head of the Department of Concrete Technology and Building Materials
E-mail: profturvic@gmail.com

УДК 624.012.3

ТРАВУШ В.И., МУРАШКИН В.Г.

ВЛИЯНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В ИЗГИБАЕМОМ ЭЛЕМЕНТЕ

Рассмотрено изменение деформаций и напряжений в изгибаемом железобетонном элементе при воздействии внешней нагрузки, как при кратковременном нагружении, так и при длительном процессе с учетом временного фактора. Показано, что в процессе эксплуатации железобетонных конструкций происходит изменение модуля упругости бетона относительно начального значения и одновременно, даже при неизменной нагрузке, происходит нарастание деформаций железобетонных конструкций, вызванное явлением ползучести. Зависимость характеристик деформирования бетона под нагрузкой получена с использованием разбивки процесса деформирования бетона под нагрузкой на малые периоды времени. Представлен пример расчета изгибаемой железобетонной балки прямоугольного сечения. Показано отличие деформаций и напряжений в изгибаемом элементе и при одноосном сжатии. Дан пример трансформации модели деформирования.

Ключевые слова: деформации ползучести; изгиб железобетонной балки; трансформация напряженного состояния; сопоставление деформаций изгиба и центрального сжатия.

В процессе эксплуатации железобетонных конструкций происходит нарастание модуля упругости бетона относительно начального значения и одновременно, даже при неизменной нагрузке, происходит нарастание деформаций железобетонных конструкций, вызванное явлением ползучести бетона.

Изменение функции модуля упругости бетона в зависимости от времени можно получить, используя формулу Н.Х. Арутюняна [1]

$$E(t) := E_b \cdot (1 - \xi \cdot e^{-\beta \cdot t})$$

Входящие сюда константы по опытным данным ЛИИЖТ (цитировано по [2]) составляют для бетона класса В 30

$$E_b = 32500 \text{ МПа}; \quad \xi = 0.46; \quad \beta = 0.06;$$

График функции модуля упругости представлен на рисунке 1.

Влияние ползучести на деформации железобетонных конструкций можно определить, применяя предложенную С.В. Александровским [1] функцию меры ползучести

$$C(t, t_0) := \phi(t) - F(t) \cdot (e^{\gamma \cdot t_0} - A_2) - \Delta(t_0) \cdot e^{-\alpha \cdot (t-t_0)}, \quad (1)$$

где t – текущее время; t_0 – момент начала приложения нагрузки. Значения констант приняты в соответствии с данными С.В. Александровского [1]

$$\psi(t_0) := C_3 + \frac{A_3}{t_0}, \quad \Delta(t_0) := C_1 - C_3 + \frac{A_1 + A_3}{t_0}, \quad \phi(t_0) := \psi(t_0) + \Delta(t_0),$$

$$F(t) := \frac{\psi(t)}{e^{\gamma \cdot t} - A_2}, \quad A_1 = 4.62 \cdot 10^{-5}; \quad A_2 = 1; \quad A_3 = 3.416 \cdot 10^{-5};$$

$$C_1 = 0.975 \cdot 10^{-5}; \quad C_3 = 0.756 \cdot 10^{-5}; \quad \gamma = 0.03; \quad \alpha = 6.$$

При этом функция $\phi(t_0)$ имеет вид, представленный на рисунке 2.

График функции меры ползучести бетона, построенный на основании принятых констант и функций представлен на рисунке 3.

Далее рассмотрим железобетонный стержень, сжатый постоянной силой. В случае, если бы элемент был без арматуры, то с течением времени в нем изменялись бы деформации согласно приведенному закону ползучести бетона. При наличии же армирования, развитие деформаций в бетоне приводит к деформациям, связанных с ним силами сцепления продольных арматурных стержней. При этом вследствие деформаций ползучести напряжение в арматуре увеличивается и арматура забирает на себя часть усилия, воздействующего на бетон, т.е. происходит некоторая разгрузка бетона. Таким образом, усилие, приложенное к бетону, с течением времени падает и процесс ползучести затухает, а напряжение в стержневой арматуре растет.

Используя дискретный подход, т.е. разбивая процесс деформирования бетона под нагрузкой на очень маленькие периоды времени, получаем график деформирования железобетонного элемента. На рисунке 4 показаны график деформирования сжатого железобетонного элемента в результате ползучести бетона ϵ_r и кривая ϵ_{rj} , отражающая свободные деформации бетонного элемента под действием постоянной нагрузки.

Данный подход позволяет моделировать напряженно-деформированное состояние сжатого железобетонного элемента в любой период времени, а также установить период времени, после которого нарастание деформаций ползучести будет незначительным. Решение этой задачи выполнено пошаговым методом с использованием программного комплекса «Mathcad».

$$\begin{array}{l}
 P_j := \left| \begin{array}{l}
 i \leftarrow 0 \\
 EPS_i \leftarrow \epsilon b1 \\
 POL_i \leftarrow 0 \\
 Sibb_i \leftarrow \sigma b (\epsilon b1) \\
 \text{while } (i < j) \\
 \left| \begin{array}{l}
 i \leftarrow i + 1 \\
 POL_i \leftarrow Sibb_{i-1} \cdot C \left(t0 + \frac{i}{IN}, t0 \right) - \left| \begin{array}{l}
 0 \text{ if } i = 1 \\
 Sibb_{i-1} \cdot C \left(t0 + \frac{i-1}{IN}, t0 \right) \text{ otherwise}
 \end{array} \right. \\
 EPS_i \leftarrow EPS_{i-1} + POL_i \\
 NNs_i \leftarrow \sigma s (EPS_i) \cdot As \\
 NNb_i \leftarrow NN - NNs_i \\
 Sibb_i \leftarrow \frac{NNb_i}{b \cdot h0} \\
 POL_i
 \end{array} \right.
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Теперь рассмотрим изгибаемый элемент, нагруженный постоянной нагрузкой. В результате процесса ползучести напряжения в сжатой зоне элемента уменьшаются, и так как внешний изгибающий момент действующий на элемент остается постоянным, равнодействующая усилий в сжатой зоне бетона также снижается, а равнодействующая растягивающих усилий в арматуре увеличивается. Следовательно, происходит процесс смещения нейтральной оси. Этот процесс известен давно и описан в монографии В.М. Бондаренко [3]. Необходимо заметить, что эксперименты показывают незначительные изменения растягива-

ющих напряжений в арматуре изгибаемых элементов со временем, что позволяет на данном этапе исследований принять величину деформаций в арматуре ϵ_a постоянной (рисунок 5).

При изгибе напряжения в сжатой зоне бетона увеличиваются по нелинейному закону по направлению к крайним сжатым волокнам. Исключение составляет случай, когда еще до достижения крайних волокон деформации бетона превышают предел деформативности бетона при сжатии. Разный уровень величины напряжений в бетоне должен привести к тому, что деформации ползучести в крайних слоях будут значительно больше, чем деформации бетона вблизи нейтральной оси.

При этом, согласно гипотезе плоских сечений поворот сечения при изгибе происходит по линейному закону, назовем такие деформации в сечении фактическими ϵ_s .

Проследить за процессом изменения деформаций и напряжений можно условно разделив сечение сжатой зоны по высоте на элементарные слои [4]. Обозначим через 1,2,3 - части напряжений в сжатой зоне изгибаемого элемента (выше нейтральной оси) и 4 – растянутая зона (ниже нейтральной оси). Исследуем, как изменяются напряжения от изгиба в сжатой и растянутой зонах изгибаемого элемента с учетом ползучести, применив пошаговый метод.

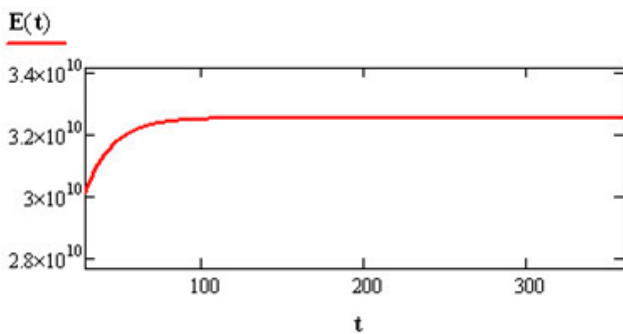


Рисунок 1 - Функция модуля упругости бетона от времени (E_b – модуль упругости бетона, Па; t – время, сут.)

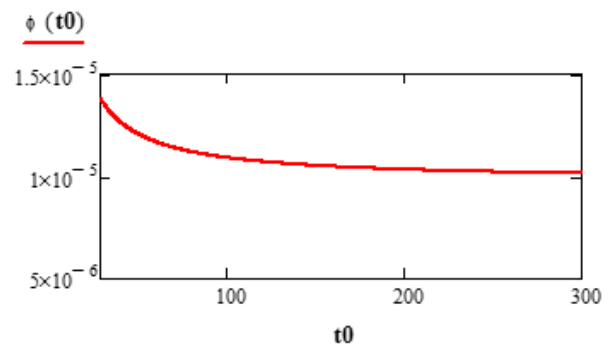


Рисунок 2 - Функция $\phi(t_0)$ из уравнения меры ползучести

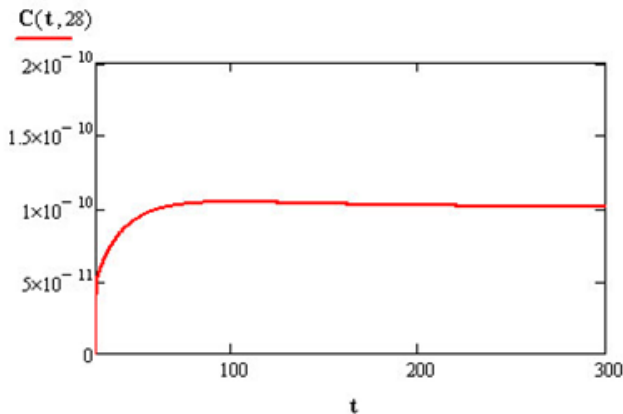


Рисунок 3 - Функция меры ползучести бетона от времени t при начале нагружения в возрасте $t_0 = 28$ суток

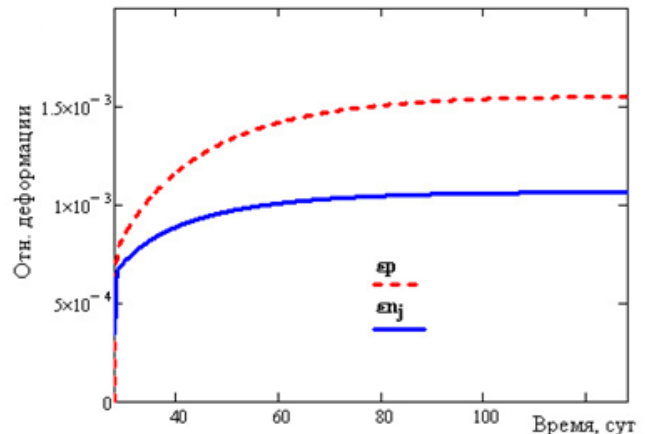


Рисунок 4 - $\epsilon_{пj}$ – график нарастания деформаций ползучести в сжатом железобетонном элементе, ϵ_p – кривая свободных деформаций ползучести в сжатом бетонном элементе

Если позволить свободно «ползти» бетону под действием напряжений от изгиба, действующих в каком-либо слое, то деформации ϵ_{bs} в крайних слоях будут больше фактических, а вблизи нейтральной оси свободные деформации ползучести будут ниже фактических.

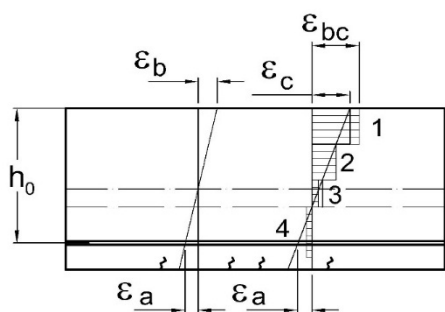


Рисунок 5 – Схема изменения деформаций в изгибаемом элементе в процессе ползучести

Таким образом, слои вблизи нейтральной оси (зона 3, рисунок 5) сдерживают деформации слоев с максимальными напряжениями (зона 1). Кроме того, сдерживает деформации слоев с максимальным напряжением и растянутый бетон в зоне от нейтральной оси до устья трещины (зона 4). В зоне 2 условно можно принять, что фактические и свободные деформации ползучести равны. Точность решения зависит от принятого размера этой зоны.

Для определения величины смещения нейтральной оси В.М. Бондаренко была составлена система уравнений [3], но также замечено, что решение этой системы в замкнутом виде невозможно даже в линейной постановке.

Тем не менее, приняв условия, что работа усилий в зоне 1 равна сумме работ в зоне 3 и 4, а также неизменность напряжений в арматуре, задачу можно решить приближенно пошаговым методом при действии в сечении постоянного момента. Общая площадь эпюры нормальных напряжений в бетоне сечения увеличивается пропорционально снижению плеча внутренней пары сил в результате смещения нейтральной оси.

Решение этой задачи упрощенно можно получить исходя из следующего предположения. Чтобы определить насколько сопротивление зоны 3 и зоны 4, указанных на рисунке 5 снизят общие свободные деформации крайних сжатых волокон ϵ_{bc} , необходимо либо определить расстояние зоны 2 до нейтральной оси. Первый вариант решается путем введения некоего коэффициента k_b , отражающего отношение величины ползучести сжатой зоны бетона при изгибе, к величине ползучести центрально сжатого бетонного стержня

$$\epsilon_c = \epsilon_{bc} k_b \quad (2)$$

При практическом решении такой задачи необходимо дополнительно ввести еще одно допущение. На практике многие исследователи отмечали, что изменение напряжений в арматуре происходит в незначительных пределах, либо вообще не происходит.

Для проверки этого предположения проведены исследования. Построена математическая модель однопролетной свободно опертой железобетонной балки. Результаты выполненных исследований с применением программного комплекса «Лира» показали, что изменения напряжений в растянутой арматуре в трещине на интервале времени 100 дней не превышали 20%. Подробнее эта модель и результаты исследования представлены ниже.

Если условно принять значение деформаций в арматуре с течением времени постоянной величиной ϵ_a , можно установить связь между величиной деформации крайних сжатых волокон бетона ϵ_{bc} и высотой сжатой зоны бетона.

Обозначив высоту сжатой зоны x , а увеличение высоты сжатой зоны вследствие процесса ползучести $\Delta x(t)$ получаем из подобия треугольников (рис.5)

$$\epsilon_a = \epsilon_b \cdot \frac{(h_0 - x)}{x} \quad \text{и} \quad \epsilon_a = \epsilon_c \cdot \frac{(h_0 - (x + \Delta x(t)))}{(x + \Delta x(t))},$$

тогда

$$\epsilon_c = \epsilon_b \cdot \frac{(h_0 - x)}{(h_0 - (x + \Delta x(t)))} \cdot \frac{(x + \Delta x(t))}{x} \quad (3)$$

Зная, значение ϵ_c из выражение (2), получаем:

$$\varepsilon_{bc} \cdot k_b = \varepsilon_b \cdot \left(\frac{h_0 - x}{h_0 - (x + \Delta x(t))} \right) \cdot \frac{(x + \Delta x(t))}{x}, \quad (4)$$

при этом ε_{bc} тоже известная величина:

$$\varepsilon_{bc} = \sigma_b(\varepsilon_b, t) \cdot C(t, t_0) \quad (5)$$

Решая совместно уравнения (4) и (5) можно определить высоту сжатой зоны в любой момент времени.

Другой путь, позволяющий определить величину деформации крайних сжатых волокон бетона ε_{bc} состоит в следующем. Из подобия треугольников можно найти приращение деформаций за счет изменения высоты сжатой зоны.

Сравнивая с деформацией ползучести, происходящей в сжатом элементе и учитывая выражения (5), запишем

$$\varepsilon_{bc} = \varepsilon_b \cdot E_b(\varepsilon_b, t) \cdot C(t, t_0)$$

В данном выражении $E_b(\varepsilon_b, t)$ касательный модуль упругости в нелинейной диаграмме деформирования бетона, соответствующий деформациям бетона ε_b . $C(t, t_0)$ – функция меры ползучести (1). Тогда из (2) получим

$$\varepsilon_{bc} \cdot k_b = \varepsilon_b \cdot \left(\frac{h_0 - x}{h_0 - (x + \Delta x(t))} \right) \cdot \frac{(x + \Delta x(t))}{x}$$

И после некоторых преобразований

$$E_b(\varepsilon_b, t) \cdot C(t, t_0) \cdot k_b = \left(\frac{h_0 - x}{h_0 - (x + \Delta x(t))} \right) \cdot \frac{(x + \Delta x(t))}{x}$$

$$k_b = \left(\frac{h_0 - x}{h_0 - (x + \Delta x(t))} \right) \cdot \frac{(x + \Delta x(t))}{x} \cdot \frac{1}{E_b(\varepsilon_b, t) \cdot C(t, t_0)}$$

Соотношение

$$\left(\frac{h_0 - x}{h_0 - (x + \Delta x(t))} \right) \cdot \frac{(x + \Delta x(t))}{x}$$

напрямую зависит от ползучести бетона, численно отражаемой мерой ползучести. Если разделить его на меру ползучести, то при определенном значении напряжения в бетоне получится квази-постоянная величина, для заданных геометрических характеристик изгибаемого элемента и его процента армирования. Обозначим эту величину B , тогда коэффициент трансформации, т.е. коэффициент равный отношению величины ползучести сжатой зоны бетона при изгибе, к величине ползучести центрально сжатого бетонного стержня можно представить в виде

$$k_b = \frac{B}{E_b(\varepsilon_b, t)} \quad (6)$$

Данное предположение подтверждается тем, что соотношение между свободными деформациями ползучести бетона и деформациями ползучести бетона при изгибе на протяжении всего периода исследования остается постоянным, что хорошо видно из графика (рисунок 6). Для исследуемых моделей описанных ниже $k_b = 0,72$. На рисунке 6 синяя линия отражает величину свободных деформаций бетона при сжатии в результате ползучести при напряжениях эквивалентных напряжениям в крайних сжатых растянутых волокнах бетона. Величина свободных деформаций бетона больше, чем при изгибе. Красной линией отобра-

жены деформации крайних сжатых волокон изгибаемого элемента. Соотношение величины свободных деформаций и деформаций при изгибе остается практически одинаковым на всем периоде наблюдений. Превышение свободных деформаций над деформациями при изгибе представлено в таблице 1.

Из выражения (6) вытекает, что коэффициент трансформирования будет зависеть от того, насколько близко напряжения в крайнем сжатом волокне бетона к пределу прочности бетона. Если говорить об изменении коэффициента трансформации по высоте сечения, то будет более уместна функция трансформации $k_b(\epsilon_b, t)$. Общий вид трансформированной функции деформаций бетона в сжатой зоне при изгибе можно увидеть на рисунке 7

Таблица 1

Время (сут.)	1	30	100
Процент	28.6%	28.6%	28.2%

В практических расчетах уравнение (3) позволяет вычислить деформации в крайних сжатых волокнах бетона ϵ_c в любой момент времени, используя эмпирическую зависимость высоты сжатой зоны бетона со временем, используемую Eurocod2.

$$x_c = \left\{ \left[(A_3 \alpha_{\epsilon} + A_{32} (\alpha_{\epsilon} - 1))^2 + 2b (A_3 d \alpha_{\epsilon} + A_{32} d_2 (\alpha_{\epsilon} - 1)) \right]^{0.5} - (A_3 \alpha_{\epsilon} + A_{32} (\alpha_{\epsilon} - 1)) \right\} / b$$

$$\epsilon_c = \epsilon_b \cdot \frac{(h_0 - x)}{(h_0 - (x + \Delta x(t)))} \cdot \frac{(x + \Delta x(t))}{x}$$

Для подтверждения сделанных предположений проводился эксперимент на математической модели.

Изгибаемый элемент моделировался в виде однопролетной свободно опертой балки. Размер сечения балки 220x120 мм, соответствующий образцам испытанным в [5]. Исследования проводились с применением программного комплекса «Лира». Бетон задавался с помощью четырехугольного физически нелинейного конечного элемента типа КЭ№230. Принятый класс бетона В30.

Физическая нелинейность конечного элемента задана с помощью 21 экспоненциального закона деформирования бетона (рисунок 8).

Ползучесть бетона задавалась степенной функцией по характеристикам Eurocod2 (рисунок 9).

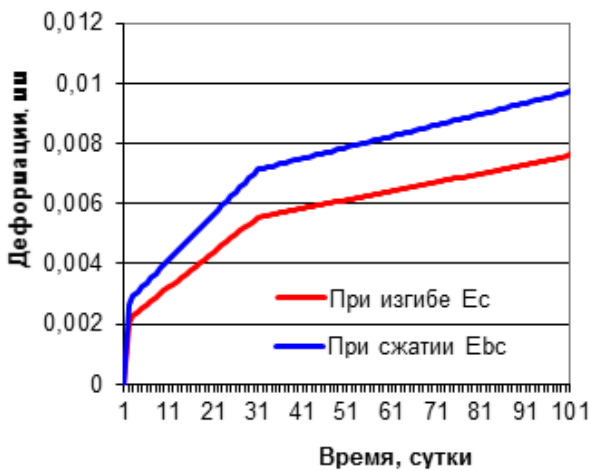


Рисунок 6 – Графики деформаций бетона с учетом ползучести при сжатии при изгибе

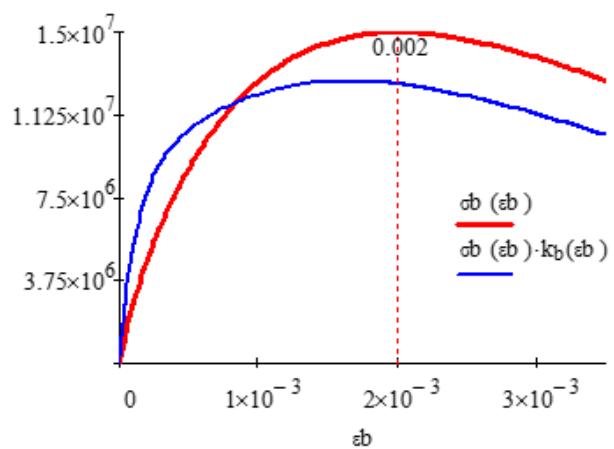


Рисунок 7 - Общий вид трансформированной функции деформаций бетона в сжатой зоне при изгибе

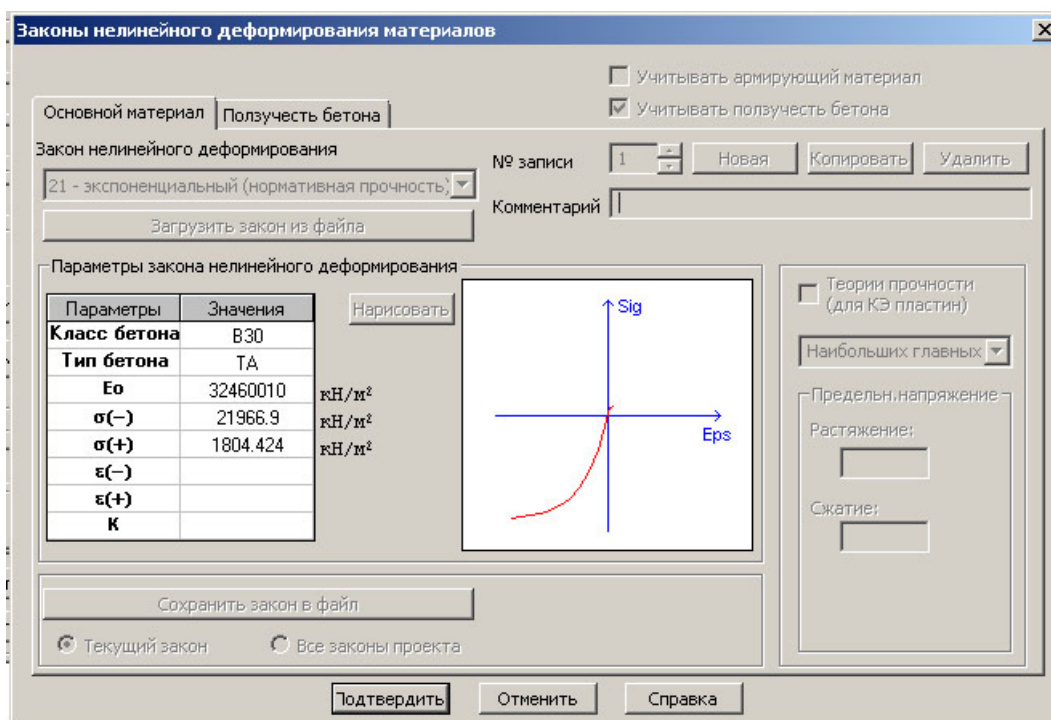


Рисунок 8 – Задание закона деформирования бетона в ПК «Лира»

Арматура моделировалась стержневыми элементами без учета нелинейности.

Контактная зона арматуры и бетона не моделировалась. При этом арматура в середине блока между трещинами имела полное сцепление в двух узлах, а по краям блока – сцепление отсутствовало. Такая модель показала практически полное совпадение с результатами эксперимента, где сцепление арматуры и бетона формировалось по всей длине специальной контактной зоной, что позволяло дополнительно учесть адгезию поверхностей элементов и влияние ребер арматуры. В указанном эксперименте, контактная зона арматуры с бетоном образовывалась тремя тонкими (0,5мм) слоями плоских конечных элементов. Высота слоев соответствует высоте ребер арматурного стержня. Ширина слоев равна $\pi d_s/2$ - полупериметру соответствующего арматурного стержня с тем, чтобы получать касательные напряжения, соответствующие реальной поверхности контакта. Модель тела арматуры создана из прямоугольных к.э. №21 размером 19x10мм, так чтобы поперечные размеры арматуры соответствовали размерам арматурных стержней диаметром $\varnothing 20$ мм в соответствии с ГОСТ 5781—82. Жесткостные характеристики и закон деформирования №11 для арматуры принят согласно классу арматуры.

Образование трещин моделировалось расшивкой узлов (рисунок 10). Арматура в узлах в середине блока соединена с бетоном двумя узлами, что отражает анкеровку арматуры в середине бетонного блока между трещинами. По краям трещин анкеровка арматуры отсутствует. Расстояние между трещинами не рассчитывалось, т.к. на его значение влияет характеристика сцепления бетона и арматуры. Значение расстояния между трещинами принято из удобства моделирования 100 мм. Величина расстояния между трещинами находится в реальном диапазоне для элемента с принятым процентом армирования и существующими диаметрами арматуры.

Такая модель позволяет без перестроения расчетной схемы изучать напряженно-деформированное состояние при разных процентах армирования.

Общий вид модели представлен на рисунке 10. На рисунке 11 выделены элементы для определения напряжений в элементах сжатой зоны бетона над трещиной. На рисунке 12 выделены конечные элементы в блоке между трещинами, по которым определялись напряже-

ния в сжатой зоне бетона в середине блока. Рисунок 13 имеет выделенные узлы, по смещению которых определялись в процессе исследования деформации бетона, как деформации конечных элементов-пластин. Для удобства, балка закреплена от горизонтальных перемещений по всем вертикальным узлам в сечении по середине балки. Таким образом, узлы по левому краю элементов выделенных на рисунке 11 имеют нулевые смещения по горизонтальной оси (оси X). Тогда узлы, выделенные на рисунке 13, будут иметь смещения по оси X, равные деформациям в бетоне.

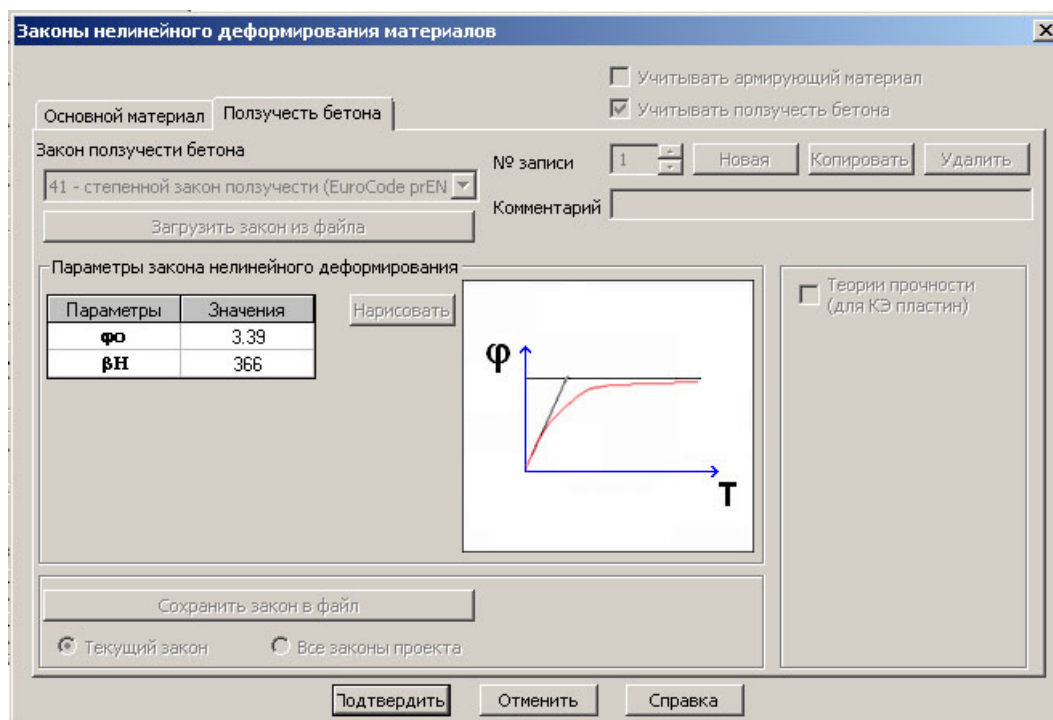


Рисунок 9 – Задание ползучести бетона в ПК «Лира»

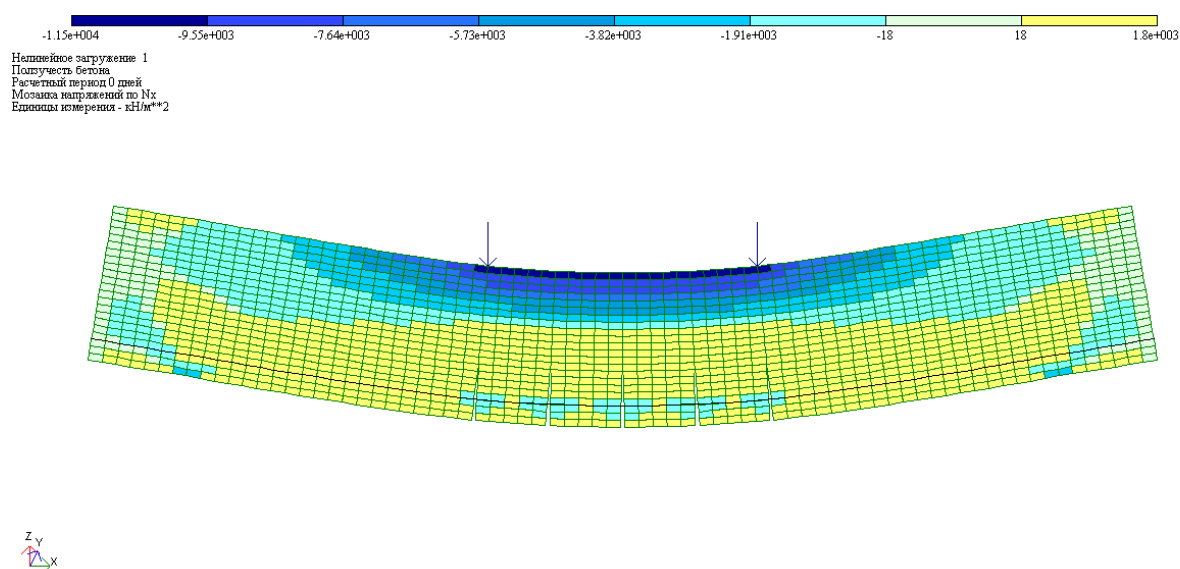


Рисунок 10 - Общий вид модели изгибаемой балки в ПК «Лира»

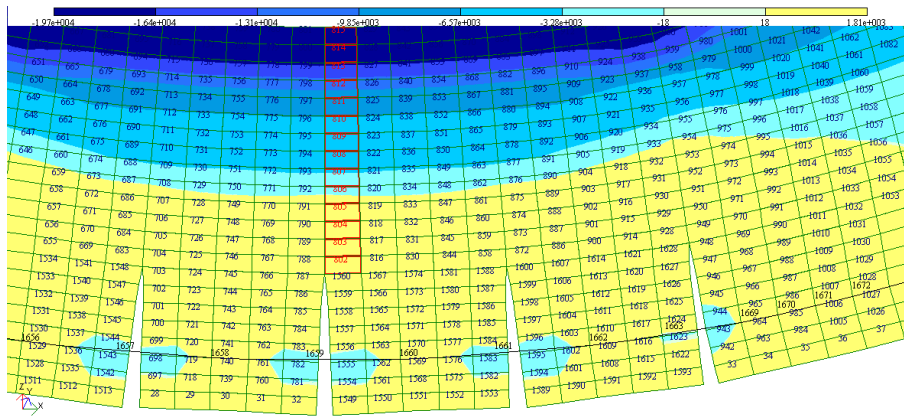


Рисунок 11 – Конечные элементы над трещиной

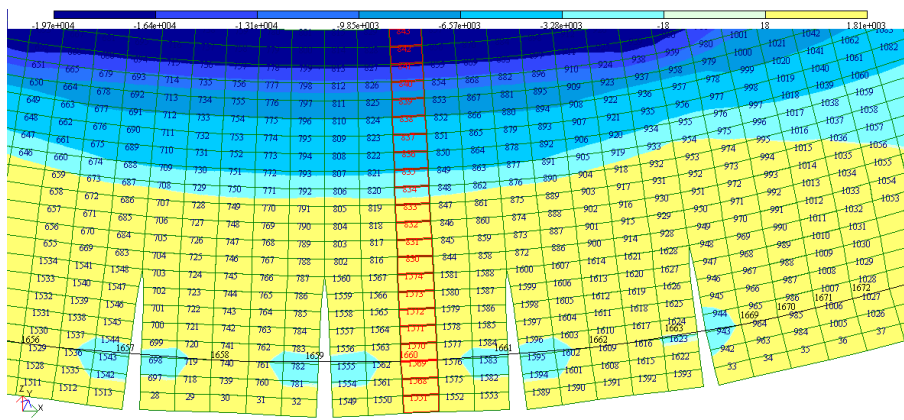


Рисунок 12 – Конечные элементы в блоке между трещинами

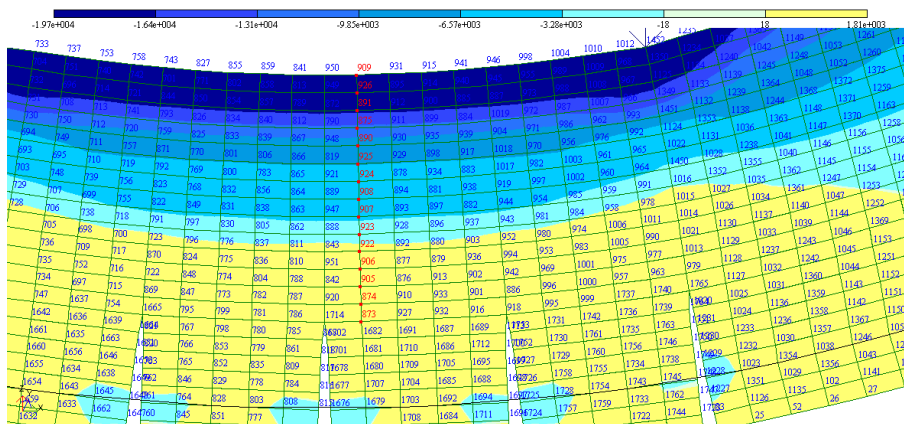


Рисунок 13 – Узлы для определения деформаций элементов

Значения деформаций в сжатой зоне бетона в сечении над трещиной представлены на рисунке 14. По вертикальной оси отложены деформации бетона в $\text{мм} \cdot 10^{-3}$. По горизонтальной оси номера элементов. Пересечение графика деформаций с горизонтальной осью – точка, через которую проходит нейтральная ось. Из графика на рисунке 14 видно, что с течением времени (на графике отражены деформации при кратковременном нагружении, при нагружении длительностью одни сутки, тридцать и сто суток) нейтральная ось смещается.

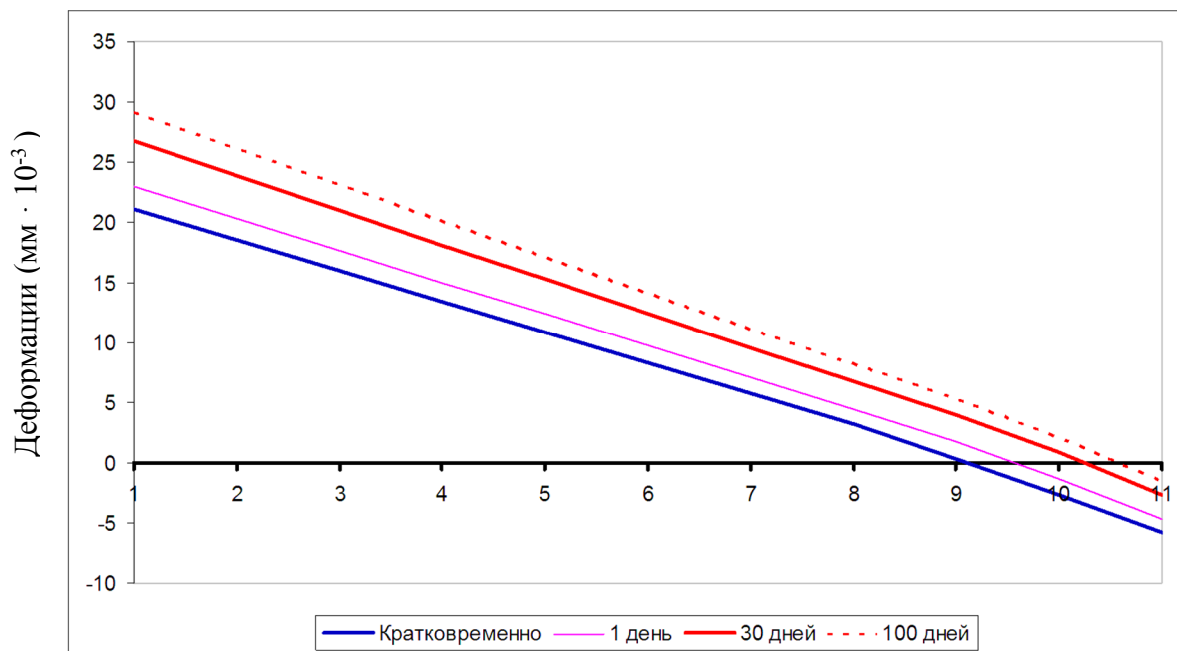


Рисунок 14 – Деформации бетона над трещиной с течением времени

Для элементов в сечении над трещиной (рисунок 11) построен кривая напряжений. Для кратковременного нагружения данная кривая отражена на рисунке 15. Процесс деформации кривой деформирования бетона при изгибе с течением времени представлен на рисунке 16.

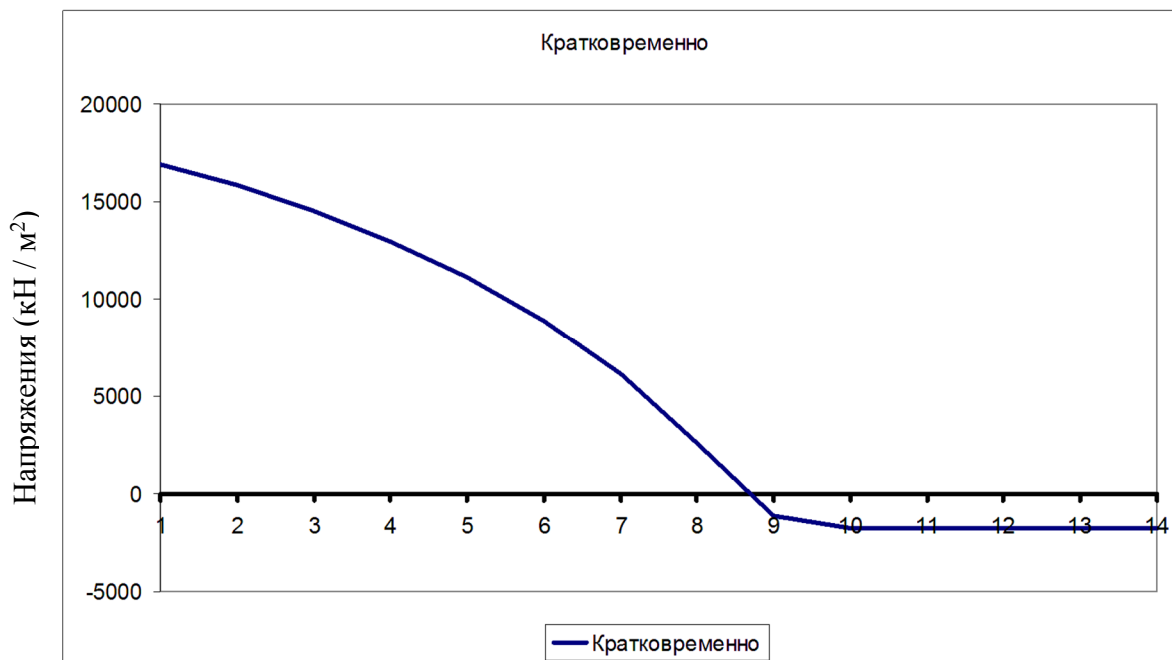


Рисунок 15 – Напряжения в бетоне по данным ПК «Лира» при кратковременном нагружении

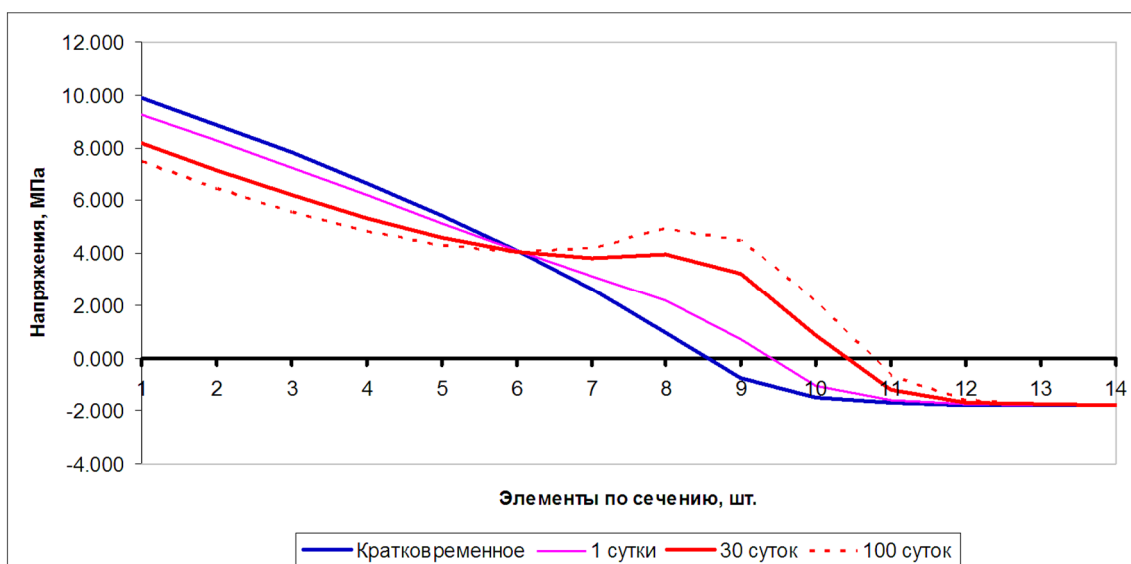


Рисунок 16 – Изменения напряжений в бетоне по данным ПК «Лира» при длительном нагружении

Аналогичные графики изменений напряжений в бетоне с течением времени при изгибе в сечении в середине блока между трещинами представлены на рисунке 17.

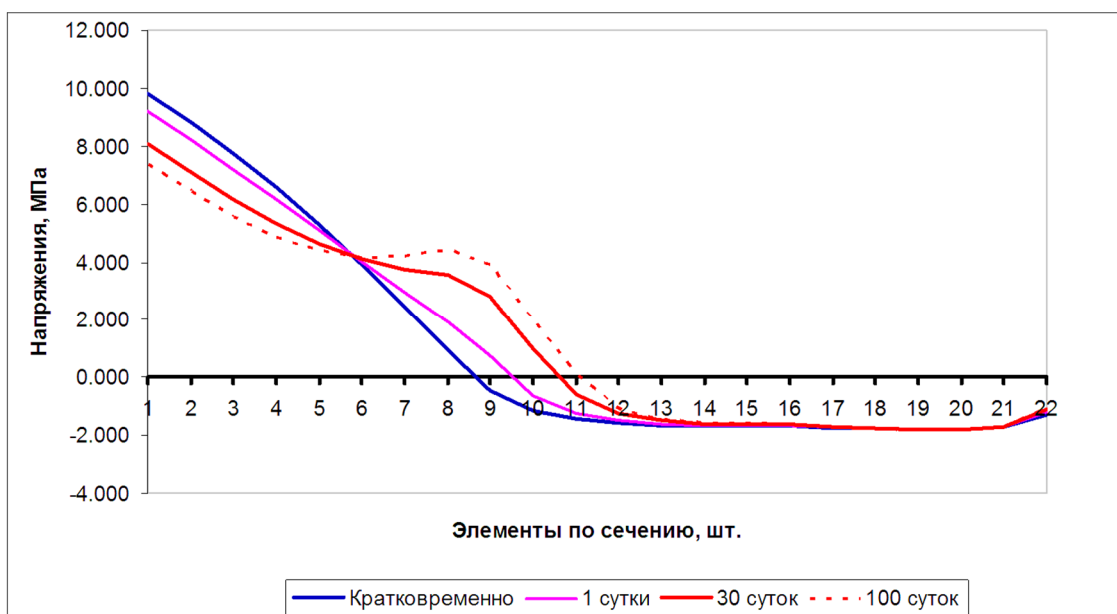


Рисунок 17 – Изменения напряжений в бетоне по данным ПК «Лира» при длительном нагружении в середине блока между трещинами

Для подтверждения приведенного выше предположения о незначительности изменения величины изменения напряжений в растянутой арматуре изгибаемого элемента в исследуемой модели построен график напряжений на рисунке 18. Напряжения в растянутой арматуре в зоне, где потеряна анкеровка (в трещине) выше, чем в середине блока между трещинами. Связано это с тем, что в блоке между трещинами бетон работает на растяжения совместно с арматурой на всей высоте от нейтральной оси до края сечения. В сечении с трещиной бетон работает на растяжение только над устьем трещины.

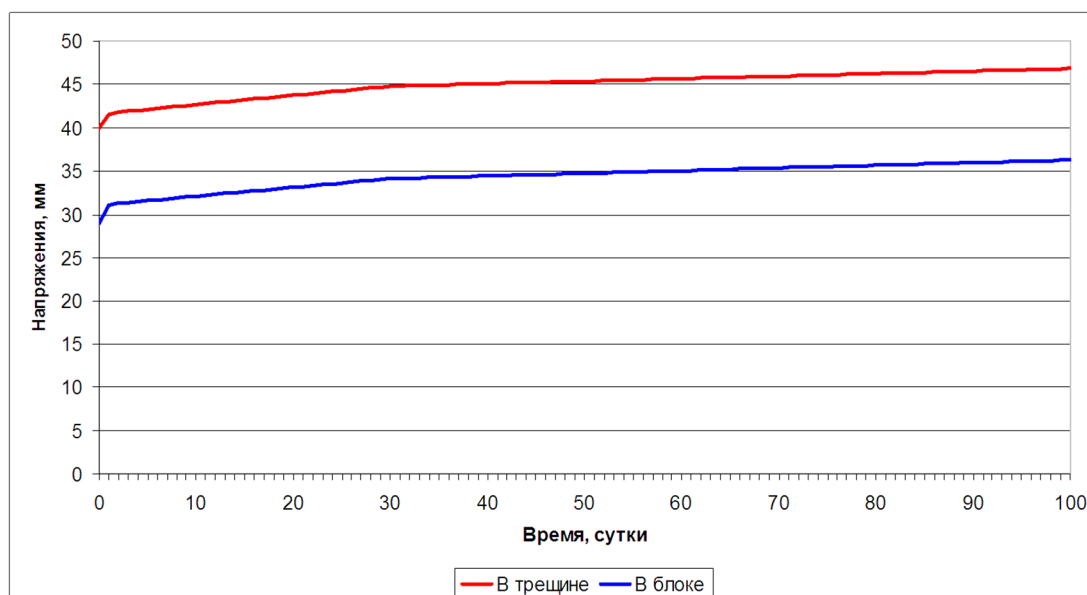


Рисунок 18 – Динамика изменения напряжений в арматуре с течением времени

Предложенная методика позволяет прогнозировать при проектировании состояние деформационных и прочностных характеристики в изгибаемой железобетонной конструкции на любой конкретный момент времени при условии отсутствия воздействия агрессивной среды.

Для оценки состояния сооружения в режиме эксплуатации необходимо знать начальные параметры бетона и арматуры, время эксплуатации и степень воздействия внешней среды на сооружение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александровский, С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учетом ползучести/ С.В. Александровский.- М.: Стройиздат, 1973.- 432 с.
2. Арутюнян Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести, Гостехиздат, 1952.
3. Бондаренко, В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона/ В.М. Бондаренко. - Харьков. - 1968. – 323 с.
4. Г.В. Мурашкин, В.Г. Мурашкин, Д.А. Панфилов. Применение программных комплексов для уточненного расчета прогибов железобетонных элементов International Journal for Computational Civil and Structural Engineering.- 2012.Vol. 8, Issue 4, pp. 89-95.
5. Gennadiy Murashkin, Vasily Murashkin, Denis Panfilov/ An Improved Technique of Calculating Deflections of Flexural Reinforced Concrete Elements Made of Conventional and High-Strength Concrete/ Journal of Civil Engineering and Architecture.- 2013. Vol. 7, No. 2 (Serial No. 63), pp. 125-131.
6. Панфилов Д.А. Усовершенствованная методика расчета общих прогибов изгибаемых железобетонных элементов с учетом дискретного трещинообразования, применительно к обычным и высокопрочным бетонам / Д.А. Панфилов, В.Г. Мурашкин // Известия Орловского государственного технического университета. Серия Строительство. Транспорт.– Орел, 2011. №5
7. Мурашкин Г.В. Учет ползучести бетона при определении деформаций изгибаемого железобетонного элемента /Г.В. Мурашкин, А.И. Снегирева, В.Г. Мурашкин// Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 70-й юбилейной Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР 2012 года/ СГАСУ.- Самара, 2013. – 472 с.
8. Верещагин, В.С. Использование блочной модели деформирования для определения кривизны оси изгибаемых железобетонных элементов с трещинами [Текст] / В.С. Верещагин// Бетон и железобетон. – М., 2002. – №3. –С. 16-19.
9. Карпенко, Н.И. Исходные и трансформированные диаграммы деформирования бетона и арматуры / Н.И. Карпенко, Т.А. Мухаметдиев, А.Н. Петров// Напряженно – деформированное состояние бетонных и желе-

зобетонных конструкций: сборник научных трудов, ред. С.М. Крылова, Т.А. Мухаметдиева, М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1986. - С.7 – 25.

10. Hognestad E. A study of combined bending and axial load in reinforced concrete members // University of Illinois Bulletin, 1951. – Vol. 49. – № 22. – 128p.

Травуш Владимир Ильич

Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН), г. Москва

Академик, доктор технических наук, вице- президент РААСН

E-mail: travush@mail.ru

Мурашкин Василий Геннадьевич

ООО "Самара- Авиагаз", г. Самара

Кандидат технических наук, руководитель группы проектирования

E-mail: murvag@mail.ru

V. TRAVUSH, V. MURASHKIN

**INFLUENCE OF CREEP TO DEFORMATION AND STRESS
DISTRIBUTIONS OF A BENDING ELEMENT**

Considered changes of strains and stresses in bending reinforced concrete element when subjected to external loads, such as under short-term loading and long-term process taking into account the time factor. It is shown that in the process of operation of concrete structures is a change of the elastic modulus of concrete relative to the initial values and at the same time, even at constant load, increasing the deformation of concrete structures caused by creep phenomenon. The dependence of the characteristics of deformation of concrete under load is obtained using the splitting deformation of concrete under load for short periods of time. Presents an example of calculation of flexible reinforced concrete beam of rectangular section. Shows the difference of strain and stress in the flexible element under uniaxial compression. An example of the transformation of the deformation models.

Key words: creep strain; bending of concrete beams; transformation of stress state; a comparison of the bending deformations and Central compression.

BIBLIOGRAPHY

1. Aleksandrovskiy, S.V. Raschet betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktсий na izmeneniya temperatury i vlazhnosti s uchetom polzuchesti/ S.V. Aleksandrovskiy.- М.: Stroyizdat, 1973.- 432 s.
2. Arutyunyan N.KH. Nekotoryye voprosy teorii polzuchesti, Gostekhizdat, 1952.
3. Bondarenko, V.M. Nekotoryye voprosy nelineynoy teorii zhelezobetona/ V.M. Bondarenko. - Khar'-kov. - 1968. – 323 s.
4. G.V. Murashkin, V.G. Murashkin, D.A. Panfilov. Primeneniye programmnykh kompleksov dlya utochnenogo rascheta progibov zhelezobetonnykh elementov International Journal for Computational Civil and Structural Engineering.- 2012.Vol. 8, Issue 4, pp. 89-95.
5. Gennadiy Murashkin, Vasiliy Murashkin, Denis Panfilov/ An Improved Technique of Calculating Deflections of Flexural Reinforced Concrete Elements Made of Conventional and High-Strength Concrete/ Journal of Civil Engineering and Architecture.- 2013. Vol. 7, No. 2 (Serial No. 63), pp. 125-131.
6. Panfilov D.A. Uovershenstvovannaya metodika rascheta obshchikh progibov izgibayemykh zhelezobetonnykh elementov s uchetom diskretnogo treshchinoobrazovaniya, primenitel'no k obychnym i vysokoprochnym betonam / D.A. Panfilov, V.G. Murashkin // Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya Stroitel'stvo. Transport.– Orel, 2011. №5
7. Murashkin G.V. Uchet polzuchesti betona pri opredelenii deformatsiy izgibayemogo zhelezobetonного элемента /G.V. Murashkin, A.I. Snegireva, V.G. Murashkin// Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitek-ture: materialy 70-y yubileynoy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po itogam NIR 2012 goda/ SGASU.- Samara, 2013. – 472 s.
8. Vereshchagin, V.S. Ispol'zovaniye blochnoy modeli deformirovaniya dlya opredeleniya krivizny osi izgibayemykh zhelezobetonnykh elementov s treshchinami [Tekst] / V.S. Vereshchagin// Beton i zhelezobeton. – М., 2002. – №3. –С. 16-19.

9. Karpenko, N.I. Iskhodnyye i transformirovannyye diagrammy deformirovaniya betona i armatury / N.I. Karpenko, T.A. Mukhametdiyev, A.N. Petrov// Napryazhenno – deformirovannoye sostoyaniye betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsiy: sbornik nauchnykh trudov, red. S.M. Krylova, T.A. Mukhametdiyeva, M.: NIIZHB Gostroya SSSR, 1986. - S.7 – 25.

10. Hognestad E. A study of combined bending and axial load in reinforced concrete members // University of Illinois Bulletin, 1951. – Vol. 49. – № 22. – 128p.

V. Travush

Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), Moscow

Academician, doctor of technical sciences, vice-president of RAACS

E-mail: travush@mail.ru

V. Murashkin

Samara-Aviagaz LLC, Samara

Candidate of Technical Sciences, , Head of Design Group

E-mail: murvag@mail.ru

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ВАХТОВОГО ОСВОЕНИЯ СЕВЕРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Статья посвящена проблемам градостроительной организации северных территорий при их ресурсном освоении. В настоящее время как за рубежом, так и в России объемы добычи минеральных ресурсов с каждым годом растут, при этом процессы освоения все чаще затрагивают необжитые районы планеты с экстремальными природно-климатическими условиями. Однако существующий практический опыт освоения северных и Арктических районов указывает на то, что в этих областях необходимо применять особые подходы к организации трудовых процессов. Внедрение в мировую практику вахтовой формы работ при ресурсном освоении слабозаселенных территорий стало попыткой решить данную проблему. В работе раскрыты социально-экономические и природно-климатические предпосылки использования вахтового метода организации работ, охарактеризованы существующие виды вахтовой формы организации труда, а также проанализирован процесс становления и развития вахтового метода освоения пространства. Выявлены архитектурно-планировочные особенности формирования и принципы территориального размещения поселений вахтового типа в условиях Севера. Рассмотрены перспективные формы организации транспортного обслуживания северных районов ресурсной добычи. Проведенный анализ материала показал, что для обеспечения устойчивости процесса ресурсного освоения, особое внимание должно быть уделено организации условий труда и быта вахтовых рабочих, а также технологиям транспортного обеспечения осваиваемых территорий.

Ключевые слова: вахтовый метод организации труда, градостроительное освоение малообжитых территорий, формирование систем расселения, архитектурно-планировочная организация вахтовых поселков, транспортное обеспечение, Российский и Зарубежный Север, Арктика.

Развитие территорий Севера и Арктики всегда было сопряжено с ресурсной деятельностью. Так, преобладавшая в этих районах на протяжении многих веков традиционная система хозяйствования основывалась прежде всего на добыче биологических ресурсов. Активная же промышленная экспансия приполярных районов впервые началась на североамериканском континенте лишь во второй половине XIX века. В нашей стране, несмотря на проводимые с XVIII века исследования по изучению и поиску источников минерального сырья, процесс полномасштабного освоения ресурсов Севера начался лишь в середине 1920-х годов, когда для проведения успешной индустриализации СССР было необходимо использование собственных месторождений полезных ископаемых. Изначально, как в России, так и за рубежом, реализация ресурсного потенциала вновь осваиваемой территории происходила с помощью ее локальной урбанизации. Как правило, рядом с открытыми месторождениями создавались новые однопрофильные стационарные поселения, главным образом ориентированные на добычу, эксплуатацию и в ряде случаев переработку полезных ископаемых. Однако за прошедшие годы произошла эволюция представлений о методах организации ресурсной добычи в необжитых районах с суровым климатом, поскольку реализация данного процесса осложнена рядом факторов и условий, наличие которых зачастую делает освоение либо экономически невыгодным, либо же технически трудновыполнимым.

В первую очередь, свойственные Северу и Арктике природно-климатические условия не только создают трудности для жизнедеятельности человека и функционирования техники, но и предопределяют наличие особых почвенно-геологических процессов – такие как вечная мерзлота, заболоченность и заторфенность территорий. Из-за этого строительство зданий и сооружений на Севере представляет собой крайне сложный технический процесс, а любое вмешательство в слои литосферы вызывает деградацию почвенно-растительного покрова, крайне трудно поддающегося восстановлению. Во-вторых, большинство месторождений на

Севере, располагается дисперсно - на большом удалении как друг от друга, так и от сформировавшихся региональных и локальных систем расселения. В результате вновь образуемые северные поселения существуют в виде изолированных анклавов, но при этом они сильно зависят от внешних источников и связей, поскольку в условиях северного климата не способны самообеспечивать себя необходимыми ресурсами. Любые же продовольственные, топливные или другие виды поставок из-за слабо развитых наземных транспортных систем в большинстве случаев могут осуществляться лишь воздушными или водными путями, поэтому становятся крайне дорогостоящими. В-третьих, на Севере существует проблема нехватки людских ресурсов, так как местное население весьма немногочисленно и не всегда обладает необходимой профессиональной квалификацией. Из-за этого трудовой персонал приходится привлекать извне, обеспечивая его самого и его семью необходимыми жилищными и культурно-бытовыми условиями. При этом возникают сложности с трудоустройством вторых членов семей - женщин, трудовая деятельность которых в условиях ресурсной экономики весьма лимитирована. Последней существенной проблемой ресурсного освоения необжитых территорий, с которой сталкиваются не только северные страны, но и другие государства, является сам нестабильный характер промышленного производства. С одной стороны, этот процесс сильно зависит от мировых цен на сырьевые ресурсы, из-за чего объемы добычи могут либо сокращаться, либо увеличиваться, наряду со спросом на рабочую силу. С другой стороны, запасы большинства месторождений весьма ограничены, поэтому после их выработки возникает проблема дальнейшего функционирования созданных для их эксплуатации поселений с отраслевой структурой хозяйства [1].

Все вышеперечисленные факторы указывают на то, что в подобных условиях необходимо создавать иные формы организации расселения, которые бы были гибкими и имели возможность быстро трансформироваться под воздействием внешних условий, не нанося при этом ни экологического, ни социального ущерба местным сообществам [1, 2]. Попыткой решить данную задачу стала идея организации и внедрения вахтовой системы труда при освоении необжитых пространств планеты. Сегодня вахтовый метод применяется в таких отраслях, как нефте- и газодобыча, лесная промышленность, геологоразведка, строительство, а также на железнодорожном транспорте в труднодоступных и малоосвоенных районах Канады, США, России, Норвегии и Австралии.

Понятие вахтового метода организации труда и социально-экономические аспекты его применения

Первоначально понятие «вахта» или «вахтенная служба» появилось в морской терминологии для обозначения процесса дежурства на корабле или других судах. Понятие же «вахтовый метод» в русском языке впервые официально было употреблено в государственных документах 1974 г., где оно трактовалось как способ ведения работ, при котором персонал работает на отдаленных от центральных населенных мест «вахтах» - временных поселениях, предназначенных для без семейного проживания [3]. Согласно же действующему в настоящее время определению понятия, под вахтовым методом подразумевают «особую форму осуществления трудового процесса вне места постоянного проживания работника, когда не может быть обеспечено его ежедневное возвращение к постоянному месту жительства» [4]. Вахтовая работа характеризуется наличием регулярно сменяемого персонала, работающего по определенному графику с особым режимом труда и отдыха. Как правило, период работы с расширенным временем рабочего дня и без выходных сменяется таким же по времени периодом отдыха. Доставка персонала до места работы в большинстве случаев организовывается и оплачивается нанимающими компаниями.

В России принято различать несколько разновидностей вахтового метода – *обычный вахтовый метод (или внутрирегиональная вахта)* и *вахтово-экспедиционный метод (или межрегиональная вахта)* (рис.1). Для обычного вахтового метода свойственны короткие внутрирайонные перемещения персонала от места жительства до места работы. При этом работники могут жить либо в базовом городе, откуда ежедневно обеспечивается их доставка до места работы (если это расстояние не превышает 100-120 км.), либо в вахтовом поселке при

месторождении, который может быть расположен уже в нескольких сотнях километров от базового города. В этом случае, персонал возвращается в базовый населенный пункт лишь на период отдыха к постоянно проживающим там семьям. Вахта обычно длится 7-10 дней, а рабочая смена от 8 до 12 часов. В случае вахтово-экспедиционного метода персонал или выездные бригады доставляются на место работы из районов или регионов их постоянного места жительства, а расстояние от дома до вахты при этом может достигать до нескольких тысяч километров. Продолжительность таких вахт составляет период от двух недель до трех месяцев, а режим труда и отдыха в рабочее время чередуется по схеме 8/8/8 ч. или 12/12 ч. [5; 6; 7]. Экспедиционный метод работ в основном применяется на начальных этапах хозяйственного освоения территории, как правило геологами, буровиками и строителями. Задействованный персонал при данном методе доставляется к месту работы единой группой - в начале сезона, обратно же домой перевозится лишь в конце сезона [8]. В зарубежной практике понятие «вахтовый метод» не разделяется, обобщенно его принято называть либо *Fly-in/Fly-out (FIFO)*, либо *Long-distance commuting (LDS)*. Однако некоторые исследователи находят данную формулировку не совсем точной, поскольку рабочие могут доставляться не только воздушными, но и другими путями, а расстояние, которое они преодолевают к месту работы не всегда значительно, поэтому наиболее точная формулировка - это *camp/commute work* [1; 9].

	ЭКСПЕДИЦИОННЫЙ МЕТОД	ВАХТОВЫЙ МЕТОД или внутрирегиональная вахта	ЭКСПЕДИЦИОННО-ВАХТОВЫЙ МЕТОД или межрегиональная вахта	Условные обозначения:
Принципиальная схема:				<ul style="list-style-type: none"> ● - крупные центры страны ● - опорные города ● - базовые города региона ● - прочие поселения ▲ - полевые городки ▲ - вахтовые поселки ↔ - маятниковые миграции ↔ - сезонные миграции ----- - границы региона или климато-географической зоны
Преимущества:	<ul style="list-style-type: none"> - единственно возможный способ организации первичной инфраструктуры; 	<ul style="list-style-type: none"> - возможность привлекать на работы представителей местных сообществ, адаптированных к местному климату; - происходит меньшая текучесть кадров; - здоровье привлекаемого из других регионов персонала не подвергается постоянным нагрузкам из-за постоянной смены климатических и часовых поясов; - меньшие транспортные расходы; 	<ul style="list-style-type: none"> - возможность оперативного наращивания и сокращения привлекаемого персонала; - нет необходимости выплачивать дополнительные надбавки за проживание в регионах Крайнего Севера; - привлекаемый работник вместе со своей семьей не меняет постоянное место жительства, оставаясь в привычной среде проживания с более мягким климатом и развитой инфраструктурой; 	

Рисунок 1 - Характеристика методов освоения пространства с использованием мобильных форм организации трудового процесса

Сегодня вахтовый метод оценивается как наиболее экономичный и действенный способ организации труда при ресурсном освоении малообжитых районов Земли. Прежде всего, эффект достигается за счет экономии средств на строительство и обслуживание новых стационарных городов, вместо которых создаются легковозводимые вахтовые поселки. Помимо экономии капиталовложений, происходит и значительная экономия времени на организацию условий жизнеобеспечения перед началом эксплуатации месторождений. Гибкая система вахтового труда позволяет при необходимости расширять или сокращать производство, оперативно перераспределять кадры, а также передислоцировать поселок в другое место после выработки ресурса месторождения. Однако, несмотря на высокую экономическую эффективность, вахтовый метод порождает множество социальных проблем. В некоторых случаях он ухудшает жизнь местных сообществ, но основная проблема заключается в негативном воздействии на психологическое и физическое состояние самих работающих вахтовым методом, так как из-за различных факторов их организм постоянно находится в стрессовом состоянии. Прежде всего, на человека в условиях Севера оказывают сильное влияние природно-

климатические факторы – морозы и пурги, наличие гнуса, световая периодичность, пониженный уровень кислорода в воздухе и т.д. Для тех, кто работает вахтово-экспедиционным методом состояние еще больше усугубляется из-за постоянной адаптации и реадaptации организма, происходящей во время смены часовых и климатических поясов. Также, из-за повышенной интенсивности труда с удлинённым графиком работ, у вахтовиков возникают физические перегрузки, порождающие усталость и нарушение суточного режима. Кроме того, для вахтовой работы характерны и сильные психоэмоциональные нагрузки, в первую очередь связанные с отрывом от семьи, чувством изоляции и оторванности от мест привычного проживания. Нередко происходят и межличностные стрессовые ситуации, поскольку сосуществование длительное время в одном узком, как правило, мужском коллективе различных возрастных групп и уровня интересов бывает весьма затруднительным [6; 10]. Ко всему прочему, предоставляемые работникам жилищные условия зачастую не соответствуют принятым стандартам качества, что также усугубляет общее психоэмоциональное состояние во время работы вахтовым методом [11, 12]. В конечном итоге все эти факторы приводят к ухудшению здоровья вахтовых работников, появлению частых случаев суицидов с их стороны, а также к разладам в семейных отношениях. Однако, по мнению некоторых исследователей, часть негативного воздействия можно нивелировать с помощью методов градостроительства - при особом подходе к формированию систем расселения и архитектурно-планировочной организации вахтовых поселков [2;11].

История становления и развития вахтового метода освоения пространств Севера и Арктики

Понимание о возможности использования рабочих извне пришло в конце 1940-х годов, когда впервые началось не территориальное, а акваториальное освоение нефтегазовых ресурсов. Так, в 1947 г. при разработке месторождения Кегмас, расположенного в Мексиканском заливе в 52 милях от ближайшего населенного пункта, связанная с платформой баржа была использована в качестве жилых помещений для рабочего экипажа скважины. Таким образом, персоналу не нужно было ежедневно возвращаться на берег, и они смогли работать по графику 7/7 по 12 часов в день [9]. В начале 1950-х гг. в СССР также стали применять морской вахтенный промысел при разработке месторождения Нефтяные Камни на Каспийском море [8]. Опробованный способ работ стал прообразом и примером современного вахтового освоения, которое стало широко применяться взамен традиционной модели освоения начиная с 1970-х гг. Первый известный за рубежом вахтовый поселок Asbestos Hill появился в 1972 г. в Канадской провинции Квебек, хотя известно, что в СССР вахтовый метод локально использовался уже в 1960-е гг. при промышленной эксплуатации Правдинского, Мамонтовского и Шаимского нефтяных месторождений Тюменской области [13].

Комплексное же изучение проблемы развития вахтовой формы освоения необжитых пространств Севера СССР началось в конце 1960-х гг. во время становления нефтегазового комплекса Западной Сибири. Исследованием данного вопроса занимались научные сотрудники ЛенНИИПградостроительства (Л.К. Панов, С.И. Крестьяшин и др.), ЛенЗНИИЭПа (Т.В. Римская-Корсакова, В.Л. Ружже и др.), а также коллектив московского ГИПРОГОРа, которым было сформулировано три принципиальных варианта расселения с использованием вахтового метода. *Первый вариант* предусматривал внешнее централизованное расселение, когда обслуживание газоносных районов происходило бы из базового города, расположенного за пределами зоны Севера, а вблизи зоны месторождений создавались бы лишь вахтовые поселки; *второй вариант* предполагал создание одного или двух базовых городов в пределах зоны освоения и сети вахтовых поселков; *третий вариант* строился на основе размещения небольших базовых населенных пунктов и вахтовых поселков при каждой группе месторождений [14]. На практике, при разработке концепции расселения Ямало-Ненецкого автономного округа, был выбран второй вариант так называемого «внутреннего централизованного» расселения, предполагающий возведение одного большого города до 80 тыс. жителей в пределах округа для всех групп месторождений, где бы жили семьи газодобывателей и нефтяников, а сам персонал доставлялся на работу в вахтовый поселок при месторождении на 2-3 недели, после чего

вновь возвращался в базовый город на период отдыха. Считалось, что данный вариант наиболее перспективный, поскольку наличие крупного базового города создает предпосылки для организации обучения и повышения квалификации, в нем лучше происходит удовлетворение культурно-бытовых потребностей, а также возможна организация трудоустройства вторых членов семьи [14]. Однако реализовать модель в том виде в котором она задумалась так и не удалось: в создаваемых вахтовых поселках происходило посемейное расселение, из-за того, что в базовых городах строительство жилья и объектов культурно-бытового обслуживания катастрофически не поспевало за темпами освоения [15].

В связи с активным развитием авиации, к началу 1980-х годов в Советском Союзе и за рубежом широкое распространение стал приобретать вахтово-экспедиционный метод, который позволял привлекать на Север рабочих кадров из разных республик, регионов и областей. Основоположителем теории вахтово-экспедиционного метода в СССР стал А.Д. Хайтун, доказавший высокую экономическую эффективность данного метода. Постепенно вахтово-экспедиционная модель окончательно вытеснила преобладавшую до этого практику создания новых городов при месторождениях. Последним возведенным ресурсным городом в условиях малообжитых областей в СССР стал Новый Уренгой (1980г.), в Канаде - Tumbler Ridge (1981г.), а в Австралии - Roxby Downs (1987 г.) [9].

В настоящее время, в связи с увеличением уровня добычи ресурсов, вахтовый метод активно развивается, как на Российском Севере, так и за рубежом. Причем сегодня широко используется как внутрирегиональная вахта, так межрегиональный вахтово-экспедиционный метод освоения. Кроме того, в зарубежной практике в последнее время стала появляться еще одна форма размещения вахтовых поселков в системах расселения – в составе территории уже существующих городских образований, однако происходит оно строго по согласованию с местными сообществами (рис.2). Такое решение позволяет добывающим компаниям экономить на инженерных сетях и элементах обслуживания, за счет использования уже созданной городской инфраструктуры.

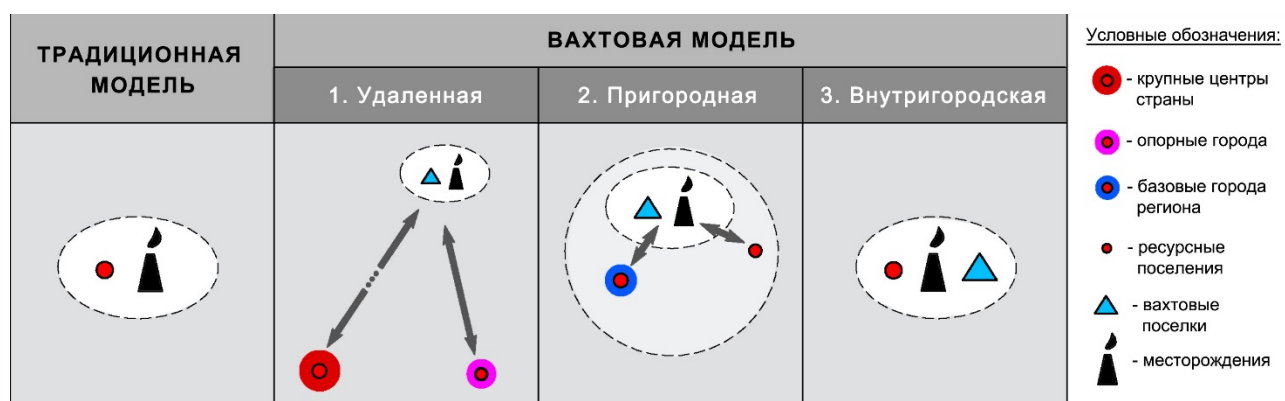


Рисунок 2 - Принципиальные схемы формирования традиционной и вахтовой модели освоения пространства [9]

Архитектурно-планировочные принципы формирования вахтовых поселков

В тех случаях, когда срок эксплуатации месторождения превышает несколько десятков лет, вахтовые поселки формируются из капитальной зданий и сооружений. Но, как правило, такие поселения представляют собой временную застройку, и классифицируются на *высокомобильные* (период эксплуатации до 5 лет), *мобильные* (срок существования 5-10 лет) и *стационарные* (период существования до 25 лет) [7]. Исходя из этого, их строительство и эксплуатация должны соответствовать принципам рациональности и экономичности. Однако с другой стороны, работающий на протяжении нескольких лет вахтовым методом персонал, проводит до половины времени своей жизни на вахте (рис.3). В этом случае вахтовые поселки уже перестают быть категорией временного размещения и выступают в качестве второго дома, где предоставляемые условия работы и проживания становятся крайне важными, особенно при наличии экстремального климата [16]. Несмотря на то, что приблизится к привычному каче-

ству среды городских образований в условиях Севера весьма сложно, все же применение особых архитектурно-планировочных решений может способствовать созданию благоприятной средовой обстановки. В конечном счете это будет не только помогать психологической адаптации персонала, но и позволит уменьшить текучесть кадров, а также в какой-то степени повысить производительность труда.



Рисунок 3 - Иллюстрации, характеризующие условия и образ жизни при работе вахтовым методом. Для многих трудящихся вахтовый поселок становится вторым домом, где протекает до половины жизненного времени



Рисунок 4 - Исторические изображения вахтовых поселков времен СССР. а - Здания общежитий в вахтовом поселке Мессояха: на первых порах вахтовые поселения строились с применением деревянных конструкций, 1970 г. (фотография); б - Общий вид экспедиционно-вахтового поселка Ямбург, ставшего первым образцовым поселением, где изначально были заложены принципы вахтового-экспедиционного метода организации труда на всех этапах - от строительства до эксплуатации, 1985 г. (фотография); в - Поселок нефтяников. Ямбург, 1986 г. (Худ. Яковлев А.А.)

В 1970 г. в СССР на полуострове Гыдан был построен первый образцовый вахтовый поселок в условиях Крайнего Севера Мессояха (рис.4). Персонал размещался в двухэтажных щитовых домах-общежитиях, а все обслуживающие учреждения были сосредоточены в едином одноэтажном деревянном здании из бруса [8]. В целом, такое решение мало чем отличалось от застройки обычных небольших поселений на Севере. Однако, спустя несколько лет, принципы и методы организации временных поселков значительно изменились. Так, при формировании жилой застройки вахтового поселка Ямбург на Ямале, происходившей во второй половине 1980-х гг., уже широко применялись здания контейнерного и передвижного типа малой вместимости (до 6-8 чел.), которые могли легко передислоцироваться на другое место. Подобные мобильные жилые модули группировались вокруг зданий общественного назначения, выполнявшихся из металлических сводчатых сборно-разборных конструкций.

Использование данного приема позволяло легче ориентироваться в поселке в условиях пурги и полярных ночей (рис.4).

В настоящее время, как в России, так и за рубежом, временные поселки для рабочих также формируются либо из цельных передвижных блоков или собираются из разборных элементов заводской готовности на месте. Исходя из этого, можно выделить несколько характерных типов застройки зон жилого назначения и культурно-бытового обслуживания вахтовых поселков (рис.5).



Рисунок 5 - Варианты компоновки элементов жилого назначения и блока культурно-бытового обслуживания при формировании застройки вахтового поселка. 1 – дисперсное расположение; 2 – компактное расположение; 3 – узловая структура; 4 - ветвистая структура; а – вахтовый поселок возле газового месторождения Бованенковское в Ямало-Ненецком АО; б – общий вид вахтового поселка при рудном месторождении Citic Pacific в Австралии; в – вахтовый комплекс алмазодобытчиков на 400 человек при месторождении Эбелях-Гусиный в Якутии; г – вахтовый поселок Варандей на 180 человек при нефтяном терминале компании Лукойл в Ненецком АО; д – вахтовый поселок Raglan при никелевом руднике на Севере Канады; е – проектное предложение по организации рабочего поселка Шанырак на 8000 человек в Атырауской области Казахстана; ж – вахтовый поселок на 1200 человек при Ванкорском нефтяном месторождении в Красноярском крае; и – вахтовый поселок нефтяного месторождения Beaver River Executive Lodge в Канаде

- *Дисперсное размещение* элементов застройки обычно применяется для поселков с краткосрочным сроком эксплуатации. В этом случае жилье формируется из готовых мобильных модулей, которые располагают рядами или группами. Элементы обслуживания при этом размещаются в отдельных зданиях;

- *Компактное размещение* подразумевает сосредоточение жилых и обслуживающих функций в объеме одного здания. Периметральное расположение жилых ячеек позволяет создавать единое центральное ядро общественного пространства, которое может быть решено в виде атриума или открытого двора. Данное планировочное решение подходит для небольших поселков малой вместимости, численность которых составляет около 100 человек;

- *Узловая структура* застройки образуется в том случае, когда корпуса жилого назначения формируются вокруг центра культурно-бытового обслуживания. Один такой кластер может в себя вмещать приблизительно от 200 до 500 проживающих;

- *Ветвистая структура* представляет собой ряд линейно расположенных жилых элементов, которые связаны между собой единой коммуникацией. Центр обслуживания в этом случае может располагаться либо в конечной точке, либо посередине коммуникационного коридора. Такое решение позволяет вмещать до 1500 проживающих.

При выборе типа застройки особое значение имеет специфика климата, предполагаемая численность персонала, характер производства, а также время существования вахтового поселка. Однако, обобщая отечественный и зарубежный опыт проектирования и строительства вахтовых поселений в условиях Севера, можно сформировать перечень основных принципов их градостроительной организации [2; 7; 11; 16; 17; 18]:

1. При выборе места расположения вахтового поселка необходимо учитывать локальные особенности ландшафта. Так, при выраженном рельефе следует избегать размещения поселка на северных неинсолируемых склонах, а также в долинах и котловинах, куда стекаются потоки холодного воздуха и скапливаются снегоотложения. При отсутствии же перепадов рельефа поселения желательно располагать за оврагами, поймами или другими снегоаккумулирующими преградами. Относительно месторождения вахтовый поселок лучше планировать с юга или с севера, а не с запада или востока, для того, чтобы избежать прямого попадания солнца в глаза при перемещении на место работы и обратно. Жилые структуры предпочтительно размещать так, чтобы максимально обеспечивать их инсоляцию;

2. При проектировании вахтового поселка следует стремиться к повышенной компактности застройки. В первую очередь это необходимо для того, чтобы уменьшить воздействие тепла и массы зданий на вечномёрзлые грунты и хрупкие ландшафты Севера. Также сокращение протяженности сетей позволяет добиваться снижения стоимости строительства и эксплуатации поселений, а применение компактной застройки с широкими корпусами способствует уменьшению теплопотерь зданий;

3. Так как на разных этапах развития предприятия характер выполняемых задач и численность работающих может варьироваться, то весьма важно создавать гибкую структуру застройки поселка, способную легко трансформироваться под необходимые условия, а в случае необходимости передислоцироваться на другое месторасположение;

4. Градостроительные решения вахтовых поселений должны способствовать уменьшению воздействия климатических факторов. Так, средствами застройки или же с помощью специальных инженерных сооружений можно обеспечить защиту поселка от снеговых заносов и ветров. Влияние низких температур рекомендуется компенсировать за счет создания крытых пешеходных галерей между функциональными частями поселения;

5. В условиях зимней пурги и темноты, а также ввиду удлиненного 12-часового рабочего дня, после которого персонал имеет ограниченное свободное время, важно обеспечивать удобные и короткие связи между функциональными частями поселения, а также легкость ориентации в пространстве. Поэтому композиция застройки должна быть четкая и ясная, но при этом пространство не должно быть монотонным и однообразным для восприятия, поэтому в случае проектирования поселка с численностью персонала более 1500 чел., следует разбивать его структуру на локальные кластеры со своими системами обслуживания;

6. Эстетический облик поселка, должен способствовать повышению психологического комфорта и адаптации трудящихся. Так, разнообразные цветовые решения зданий (преимущественно теплых тонов) позволят не только лучше ориентироваться в поселке, но и разнообразят монотонность среды в условиях северного ландшафта. Пребывание в открытых пространствах и контакты с природным окружением у вахтовиков весьма ограничены, поэтому этот недостаток важно компенсировать за счет особого подхода к созданию зон общественного назначения поселка, которые должны обладать расширенными функциями и продуманным эстетическим обликом (например, включение зимних садов).

Оторванность вахтового поселка предопределяет его как самостоятельный населенный пункт, поэтому при его формировании важно продумывать все – от градостроительных решений по планировке и застройке участка, до объемной архитектуры и средового дизайна.

Транспортное обеспечение ресурсного освоения территорий Севера

Как уже отмечалось, одной из ключевых проблем процесса освоения Севера является большая удаленность и транспортная изолированность территорий, обладающих ресурсным потенциалом. Такой показатель, как транспортная доступность района будущего освоения во многом является первостепенным, определяющим общую возможность разработки того или иного месторождения. Обуславливается это тем, что создание новых транспортных коридоров для обеспечения круглогодичной коммуникационной доступности к месту разработки ресурсов на Севере осложняется не только огромными материальными затратами, но и самой трудностью ведения строительных работ из-за присутствия особых грунтово-почвенных условий и непростой топографии местности [19]. Однако, при ведении вахтового освоения месторождений налаженные транспортные связи играют ключевое значение, поскольку помимо задач инфраструктурного обустройства, организации вывоза продукции и завоза необходимых грузов, также важна и своевременная доставка сменного трудового персонала к месту работ. Как показывает практика, авиационное сообщение в данном случае, не может быть определяющим: во-первых – из-за высокой стоимости перелетов, а во-вторых – из-за сильной зависимости работы авиации от метеоусловий. Наземное же сообщение считается более надежным, из-за чего представители крупных компаний, таких как Газпром, практикуют строительство железнодорожных веток до своих эксплуатируемых месторождений. Так была построена железная дорога до вахтового поселка Ямбург на Ямале, а недавно ветка прошла и до Бованенковского месторождения, расположенного в том же регионе. Вместе с тем, строительство данного участка пути стало настолько дорогостоящим, что по мнению специалистов, при существующей транспортной нагрузке оно не окупится даже к концу века [20]. Строительство традиционных железнодорожных и автодорожных магистралей порою нецелесообразно еще из-за того, что процесс вахтового освоения ресурсов не имеет системного характера, и заканчивается по мере выработки месторождения. В подобных условиях необходимо искать альтернативные виды транспорта, которые бы не требовали создания капитальной наземной инфраструктуры, а также обладали низкой себестоимостью перевозок. К таким видам транспорта можно отнести дирижабли, суда на воздушной подушке, экранопланы, а также амфибийные летательные аппараты.

Проводимые учеными СССР в 1970-е годы исследования о возможности применения *дирижаблей* в условиях Севера, уже тогда доказывали эффективность их применения при решении различных народнохозяйственных задач – от транспортировки грузов, до ведения монтажных работ при строительстве. Основными достоинствами данного вида транспорта является большая грузоподъемность дирижаблей, возможность осуществлять беспересадочные полеты на дальние расстояния, техническая безопасность и дешевизна перевозок. К тому же их использование не наносит вред окружающей среде. В настоящее время, в связи с внедрением беспилотных технологий, круг функционального применения дирижаблей значительно расширился - помимо транспортировки грузов, они могут эффективно производить геофизическую съемку местности, осуществлять пограничный и экологический мониторинги. В условиях патрулирования дирижабли могут находиться от двух недель до нескольких месяцев, что не может ни одно другое транспортное средство. Сегодня отечественными специалистами ведется разработка перспективных дирижаблей нового типа «АТЛАНТ», способных эффективно

работать в условиях Арктики и Крайнего Севера (рис. 6-а). Это комбинированное судно, представляет собой гибрид дирижабля, самолета, вертолета и судна на воздушной подушке. Оно может осуществлять вертикальный взлет и посадку, и при этом не требует специально подготовленных площадок [21]. Современные технологии также позволили упростить условия эксплуатации дирижаблей – теперь не обязательно создавать специальные мачты для их швартовки, а также дорогостоящие эллинги и укрытия. Однако в качестве транспортного средства, способного осуществлять перевозки людей дирижабли не рассматриваются, поэтому формировать опорную транспортную сеть на территориях Севера по средствам применения данного вида транспорта все же не приходится.



Рисунок 6 – Перспективные транспортные разработки для условий Севера. а – «АТЛАНТ» – современное транспортное средство, сочетающее в себе лучшие качества дирижабля, вертолета, самолета и судна на воздушной подушке. Разработка холдинга «Авгурь-РосАэроСистемы»; б - Общий вид безаэродромного амфибийного летательного аппарата «ЭКИП», изобретенного Л.Н. Щукиным; в – Амфибийный вездеход на воздушной подушке «Арктика», выполненный на предприятии ОАО «Торгово-промышленный центр «СибВПКнефтегаз»; г - самоходная амфибийная грузовая платформа на воздушной подушке АВП 60, разработанная на предприятии ОАО «Торгово-промышленный центр «СибВПКнефтегаз»; д – Натурная модель амфибийного безаэродромного высокоэкономичного летательного аппарата «ЭКИП» нового типа

Поскольку сооружение мостов и переправ является одной из основных проблем, удорожающих строительство дорог на Севере, освоение труднодоступных для наземного транспорта районов требует внедрения всесезонных скоростных транспортных систем, способных перемещать грузы и пассажиров по пересеченным местностям, где преобладает большое число водных преград. Подобную альтернативу может представлять транспорт на воздушной подушке, который в отличие от традиционных автомашин и гусеничной техники не портит хрупкие ландшафты Севера. К таким скоростным амфибийным судам относят многоцелевые транспортные вездеходы и грузовые платформы (рис.6-в, 6-г). Их преимущества заключаются в том, что при движении по поверхности воды или суши они создают минимальный контакт с опорной поверхностью. Из-за этого после их проходки не происходит интенсивного волнения, способного размывать берега, а также на поверхности грунта не формируется разрушающая грунтовый слой колея [22; 23]. Кроме того, данные транспортные средства могут передвигаться по болотной местности, по заснеженным и обледенелым участкам.

Применение скоростных круглогодичных экранопланов, также могло бы решить проблему доставки пассажиров и грузов. Они могут передвигаться как над поверхностью воды, так и над поверхностью суши и им не нужны специальные трассы. Известно, что в России для гражданских и военных целей вновь возобновлены работы по созданию крупных экранопланов, способных перевозить грузы массой до 500 т. Помимо этого, в настоящее время большой интерес представляет внедрение в практику амфибийных летательных аппаратов, подобных

разработанному Л.Н. Щукиным аппарату «ЭКИП» (рис. 6-б, 6-д). Такие транспортные средства способны перевозить тяжелые грузы, а также большое число пассажиров (от тысячи человек и более). Подсчитано, что перевозки с использованием амфибийных летательных аппаратов обходятся в 7-10 раз дешевле, чем вертолётные [23; 24].

Для формирования же опорного транспортного каркаса северных территорий перспективными являются магнитнолевитационные и струнные эстакадные технологии, или же системы, сочетающие в себе преимущества как *струнного*, так и *магнитнолевитационного* видов транспорта [25]. Пока что в условиях российского Севера не существует массового сегмента использования альтернативных видов транспорта, но последние разработки доказывают перспективность внедрения вышеперечисленных технологий.

Выводы

Изучение опыта ресурсного освоения малообжитых районов показывает, что данный процесс затруднен экстремальными климатическими условиями, транспортной изолированностью территорий, нехваткой рабочих кадров, а также такими особенностями преобладающей ресурсно-сырьевой модели экономики, как нестабильность рентабельности добычи и ее лимитированный срок осуществления, после истечения которого возникает проблема дальнейшего функционирования созданных моно профильных поселений. В этих условиях необходимо искать иные пути организации процесса ресурсного освоения. Конечно, выбор метода освоения во многом зависит от характера размещаемых природных ресурсов, климатических особенностей осваиваемой местности, перспектив ее хозяйственного освоения, а также от исторически сложившегося уровня расселения. Однако многими специалистами сегодня доказывается, что дальнейшее образование новых узко профилированных индустриальных городов в условиях районов с суровым климатом не целесообразно [1; 2; 5; 11]. Начиная с 1980-х гг. в Канаде и в Австралии, а в России с 1990-х гг. вахтовый метод стал стандартной, наиболее распространенной практикой освоения ресурсов. В настоящее время, количество вахтового персонала неуклонно растет, и в дальнейшем масштабы использования этого метода могут быть увеличены, так как будущие районы добычи локализованы в удаленных акваториальных и территориальных районах, многие из которых обладают экстремальными климатическими условиями [1; 26; 27]. Однозначно ответить на вопрос устойчиво ли развитие территории при освоении вахтовым методом пока трудно. Этот процесс одновременно может влиять и благотворно, и иметь отрицательные последствия как для местных сообществ, так и для рабочих извне [26]. Однако очевидно, что сегодня необходимо искать новые подходы к освоению пространства, которые бы позволили сочетать эффективность производственных процессов с одной стороны, и создание улучшенных условий для работающих, с другой стороны. Довольно часто вахтовики оценивают свою жизнь как «состоящую из двух половин или двойную» [27]. Постоянный мобильный образ жизни вызывает трудности с самоидентификацией личности, поэтому создание среды с более высоким уровнем комфорта, одновременно способной компенсировать изоляцию и климатический дискомфорт, в данных условиях крайне необходимо. На сегодняшний день происходящие на Севере процессы текучести кадров становятся одной из основных проблем зарубежных и российских работодателей. Поэтому для закрепления постоянных квалифицированных работников столь важно применять особые подходы как к градостроительному обустройству вахтовых поселений, так и к обеспечению их транспортной доступности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mcdonagh M.B. The End of Boom Towns: The Rise of Fly-In/Fly-Out Mining Camps and Implications for Community and Regional Development in The Canadian North: master of arts (planning) [Электронный ресурс]. – The University of British Columbia, 2010. – URL:https://www.researchgate.net/publication/279494955_The_End_of_Boom_Towns_The_Rise_of_Fly-InFly-Out_Mining_Camps_and_Implications_For_Community_and_Regional_Development_innnn_The_Canadian_North (дата обращения: 28.12.2016).

2. Challenor-Bevis M. Fly-in/fly-out (FIFO) accommodation in remote regions: How can good design help? [Электронный ресурс] // International Journal of Business and Administrative Studies. – №1 (4). – pp. 155-164. – URL: <http://kkgpublications.com/wp-content/uploads/2015/12/IJBAS10004-4.pdf> (дата обращения: 28.12.2016).
3. Кривой В.И. Вахтовый метод организации работ // Правоведение. – 1985. – № 2. – С. 71–75.
4. Трудовой кодекс Российской Федерации. Статья 297. Общие положения о работе вахтовым методом [Электронный ресурс] / URL: <http://www.trudkod.ru/chast-4/razdel-12/glava-47/st-297-tk-rf> (дата обращения: 21.02.2017).
5. Хайтун А.Д. Экспедиционно-вахтовое строительство в Западной Сибири. – Л., Стройиздат, Ленинградское отделение, 1982. – 183 с.
6. Сапожников П.С, Чудновский А.Д. Вахтовый метод освоения природных ресурсов Севера. – М.: Недра, 1988. – 158 с.
7. Миленина Э.А., Морозова К.И. Пособие по применению вахтового и экспедиционного методов в градостроительном освоении: На примере нефтегазового комплекса Западной Сибири. – Л.: ЛенНИИПГрадостроительства, 1982. – 134 с.
8. Зимин Л.И., Лазарева В.Г. Вахтенные жилые комплексы для Севера. – Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1978. – 152 с.
9. Storey K. The evolution of commute work in the resource sectors in Canada and Australia [Электронный ресурс] // The Extractive Industries and Society. – 2016. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.exis.2016.02.009> (дата обращения: 14.01.2017).
10. Силин А.Н. Социологические аспекты вахтового труда на территориях севера Западной Сибири // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2015. – № 4 (40). – С. 109-123.
11. Зелинский А.Н. Координирующая роль дизайнера в формировании «Новой Субкультуры» вахтового метода жизнедеятельности. На примере нефтегазового комплекса Западно-Сибирского региона РФ [Электронный ресурс] // Крайний Север: особенности труда и социализации человека – Биография, вахтовый труд и социализация человека в северном индустриальном городе. Материалы научно-практической конференции в г. Новый Уренгой, Россия, 4–6 декабря 2008. – 2010. – С. 133-136. – URL: http://raumforschung.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/inst_geograph/BOOK_Biography-ShiftLabour-Socialisation-Russian_North.pdf (дата обращения: 12.12.2016).
12. Giesbrecht K. Part 1: Understanding the state of industrial camps in Northern BC: (A Background Paper) [Электронный ресурс] // Northern Health. – 2012. – URL: https://northernhealth.ca/Portals/0/About/NH_Reports/documents/2012%2010%2017_Ind_Camps_Backgrounder_P1V1_Comb.pdf (дата обращения: 31.01.2017).
13. Гаврилова Н.Ю. Социальное развитие нефтегазодобывающих районов Западной Сибири. – Тюмень, 2002. – 283 с.
14. Фейгина Э.Я. Районные планировки нефтегазоносных районов Тюменской области // Районная планировка и расселение. Научно-тематический сборник «В помощь проектировщику-градостроителю». Выпуск 1. – Киев : Издательство «Будівельник», 1972. – С. 33-39.
15. Становление индустриально-урбанистического общества на территории Тюменской области: монография / Под ред. Г.Ю. Колевой. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – 284 с.
16. Makeham M. A submission to the house standing committee on Regional Australia-use of FIFO/DIDO workforce practices [Электронный ресурс] // Queensland registered architect. – 2011. – № 4243. – URL: http://www.aphref.aph.gov.au_house_committee_ra_fifodido_subs_sub44 (дата обращения: 17.01.2017).
17. Яковлев А. В. Градостроительство на Крайнем Севере. – Л.: Стройиздат, 1987. – 345 с.
18. Градостроительные аспекты применения вахтового и экспедиционного методов освоения ресурсов Западной Сибири / Под ред. Э.А. Милениной. – Ленинград, ЛенЗНИИИЭП, 1983. – 126 с.
19. Некрасов Н.Н. Транспорт – ключевая проблема развития производительных сил Севера // Проблемы Севера. Выпуск 20. Транспорт. – М.: Наука, 1979. – С. 5-13.
20. Россия в Арктике. Вызовы и перспективы освоения / под ред. М.В. Ремизова. – М.: Институт национальной стратегии, Книжный мир, 2015. – 384 с.
21. Федотовских А., Потеряхин В. Полярная авиация России [Электронный ресурс] // – URL: <http://pro-arctic.ru/16/05/2014/technology/8454> (дата обращения: 21.03.2017).
22. Владимиров Т.А, Серьезнов А.Н., Соколов В.Г. и др. Модернизация транспортной системы регионов Сибири и Крайнего Севера: внедрение многоцелевых экраноходов // Экономика и социальная политика. – 2014. – №6. – С. 3-9.
23. Тарасов П.И., Тарасов А.П., Тихомиров А.Ю. и др. Особенности конструкций специализированных транспортных средств для освоения северных и арктических территорий России // Горная промышленность. – 2015. – №5 (123). – С. 64-67.
24. Литовский В.В. О фундаментальных приоритетах формирования инфраструктуры Урала на базе инновационных технических решений и разработок А.Э. Юницкого // Эко-потенциал. – 2014. – №3 (7). – С. 69-84.
25. Киселенко А.Н., Сундуков Е.Ю. Применение транспортных систем эстакадного типа в Европейской и Приуральской Арктике // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера – 2016: Материалы Пятого Всероссийского научного семинара (21-23 сентября 2016 г., Сыктывкар): в 2 ч. – Сыктывкар: ООО «Коми республиканская типография», 2016. – Ч. II. – С. 171-175.

26. Storey K. Fly-in/fly-out: implications for community sustainability // Sustainability. – № 2. – pp. 1161-1181;
27. Силин А.Н. Нефтегазовый Север: социальная ситуация и технология ее регулирования: Монография. – М.: ИНФА-М, 2013. – 251 с.

Благодетелева Ольга Михайловна

Московский архитектурный институт (государственная академия), г.Москва

Аспирант кафедры Градостроительство

E-mail: blagodetel3@yandex.ru

O. BLAGODETELEVA

TOWN-PLANNING ASPECTS OF NORTHERN AND ARCTIC TERRITORIES DEVELOPMENT WITH FLY-IN FLY-OUT METHOD

The article is devoted to the problems of urban planning organization of the northern territories during their resource development. Currently, both abroad and in Russia, the volume of mineral resources is growing every year, and the development processes are increasingly affecting the uninhabited regions of the planet with extreme natural and climatic conditions. However, the existing practical experience in the development of the northern and Arctic regions indicates that in these areas it is necessary to apply special approaches to the organization of labor processes. The introduction of a commute form of work into the world practice in resource development of sparsely populated areas was an attempt to solve this problem. In this research reveals the socio-economic and climatic conditions of use commute work with the development of the resource potential of these areas. Characterized the existing types of commute work, as well as to analyze the process of formation and development of commute work. Revealed architectural and planning features of the formation and the principles of territorial distribution of work camps in the north conditions. Analyzed promising forms of transport service organization of the northern areas of resource extraction. The analysis of the material showed that in order to ensure the sustainability of the process of resource development, special attention should be paid to the organization of working and living conditions for commute workers, as well as transport logistics technologies of the developed territories.

Keywords: *Fly-in/Fly-out, Long-distance commuting, camp/commute work, urban development of sparsely populated areas, the formation of settlement systems, architectural and planning organization of work camps, transport support, Russian and foreign North, the Arctic.*

BIBLIOGRAPHY

1. McDonagh M.B. Konets gorodov bumov: vosstaniye lagerey dlya mukh i vyletov, a takzhe posledstviya dlya soobshchestva i regional'nogo razvitiya na kanadskom Severe: master iskusstv (planirovaniye) [Elektronnyy resurs]. - Universitet Britanskoy Kolumbii, 2010 g. - URL: https://www.researchgate.net/publication/279494955_The_End_of_Boom_Towns_The_Rise_of_Fly-InFly-Out_Mining_Camps_and_Implications_For_Community_and_Regional_Development_innnn_The_Canadian_North (data obrashcheniya: 28.12.2016).
2. Challenor-Bevis M. Razmeshcheniye v otdalennykh rayonakh (FIFO): kak mozhet pomoch' khoroshiy dizayn? [Elektronnyy resurs] // Mezhdunarodnyy zhurnal biznesa i administrativnykh nauk. - №1 (4). - s. 155-164. - URL: <http://kkgpublications.com/wp-content/uploads/2015/12/IJBAS10004-4.pdf> (data obrashcheniya: 28.12.2016).
3. Krivoy V.I. Vakhtovyy metod organizatsii rabot // Pravovedeniye. - 1985. - № 2. - S. 71-75oC.
4. Trudovoy kodeks Rossiyskoy Federatsii. Stat'ya 297. Obshchiye polozheniya o rabote vakhtovym metodom [Elektronnyy resurs] / URL: <http://www.trudkod.ru/chast-4/razdel-12/glava-47/st-297-tk-rf> (data obrashcheniya: 21.02.2017).
5. Khaytun A.D. Ekspeditsionno-vakhtovoye stroitel'stvo v Zapadnoy Sibiri. - L., Stroyizdat, Lenin-gradskoye otdeleniye, 1982. - 183 s.
6. Sapozhnikov P.S, Chudnovskiy A.D. Vakhtovyy metod osvoyeniya prirodnykh resursov Severa. - M.: Nedra, 1988. - 158 s.
7. Milenina E.A., Morozova K.I. Posobiye po primeneniyu vakhtovogo i ekspeditsionnogo metoda v gradostroitel'nom osvoyenii: Na primere neftegazovogo kompleksa Zapadnoy Sibiri. - L.: LenNIIPGrado-stroitel'stva, 1982. - 134 s.
8. Zimin L.I., Lazareva V.G. Vakhtennyye zhilye kompleksy dlya Severa. - L: Stroyizdat, Leningradskoye otdeleniye, 1978. - 152 s.

9. Storey K. Evolyutsiya kommutiruyushchey raboty v resursnykh sektorakh v Kanade i Avstralii [Elektronnyy resurs] // Dobyvayushchiye otrasli i obshchestvo. - 2016. - URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.exis.2016.02.009> (data obrashcheniya: 14.01.2017).
10. Silin A.N. Sotsiologicheskiye aspekty raboty na severe Zapadnoy Sibiri // Ekonomicheskiye i sotsial'nyye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz. - 2015. - № 4 (40). - S. 109-123oC.
11. Zelinskiy A.N. Vakhovogo metoda zhiznedeiyatel'nosti. Na primere neftegazovogo kompleksa Zapadno-Sibirskogo regiona RF // Krayniy Sever: osobennosti truda i sotsializatsii cheloveka - Biografiya, vakhovyy trud i sotsializatsiya cheloveka v severnom industrial'nom gorode. Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii v g. Novyy Uren-goy, Rossiya, 4-6 dekabrya 2008. - 2010. - S. 133-136oC. - URL: http://raumforschung.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/inst_geograph/BOOK_Biography-ShiftLabour-Socialisation-Russian_North.pdf (data obrashcheniya: 12.12.2016).
12. Gizbrekht K. Chast' 1: Ponimaniye sostoyaniya promyshlennykh lagerey v Severnoy BK: (Spravochnyy dokument) [Elektronnyy resurs] // Severnoye zdorov'ye. - 2012. - URL: https://northernhealth.ca/Portals/0/About/NH_Reports/documents/2012%2010%2017_Ind_Camps_Background_P1V1_Comb.pdf (data obrashcheniya: 31.01.2017).
13. Gavrilova N.YU. Sotsial'noye razvitiye neftegazodobyvayushchikh rayonov Zapadnoy Sibiri. - Tyumen', 2002. - 283 s.
14. Feygina E.YA. Rayonnyye planirovki neftegazonosnykh rayonov Tyumenskoj oblasti // Rayonnaya planirovka i rasseleniye. Nauchno-tematicheskyy sbornik «V pomoshch' proyektirovshchiku-gradostroitelyu». Vypusk 1. - Kiyev: Izdatel'stvo «Budivsel'nik», 1972. - S. 33-39.
15. Stanovleniye industrial'no-urbanisticheskogo obshchestva na territorii Tyumenskoj oblasti: mono-grafiya / Pod red. G.YU. Kolevoy. - Tyumen': TyumGNGU, 2013. - 284 s.
16. Makkhem M. Predstavleniye komitetu postoyannogo komiteta po Avstralii - ispol'zovaniye prakticheskikh metodov FIFO / DIDO [Elektronnyy resurs] // Kvinslend zaregistroval arkhitekto. - 2011. - № 4243. - URL: http://www.aphref.aph.gov.au/house_committee_ra_fifodido_subs_sub44 (data obrashcheniya: 17.01.2017).
17. Yakovlev A. V. Gradostroitel'stvo na Kraynem Severe. - L.: Stroyizdat, 1987. - 345 s.
18. Gradostroitel'nyye aspekty primeneniya vakhovogo i ekspeditsionnogo metodov osvoyeniya resursov Zapadnoy Sibiri / Pod red. E.A. Mileninoy. - Leningrad, LenZNIIEP, 1983. - 126 s.
19. Nekrasov N.N. Transport - klyuchevaya problema razvitiya proizvoditel'nykh sil Severa // Problemy Severa. Vypusk 20. Transport. - M.: Nauka, 1979. - S. 5-13.
20. Rossiya v Arktike. Vyzovy i perspektivy osvoyeniya / pod red. M.V. Remizova. - M.: Institut natsio-nal'noy strategii, Knizhnyy mir, 2015. - 384 s.
21. Fedotovskikh A., Poteryakhin V. Polyarnaya aviatsiya Rossii [Elektronnyy resurs] // - URL: <http://pro-arctic.ru/16/05/2014/technology/8454> (data obrashcheniya: 21.03.2017).
22. Vladimirova T.A, Ser'eznov A.N., Sokolov V.G. I dr. Modernizatsiya transportnoy sistemy regio-nov Sibiri i Kraynego Severa: vnedreniye mnogotselevykh ekranokhodov // Ekonomika i sotsial'naya politika. - 2014. - №6. - S. 3-9.
23. Tarasov P.I., Tarasov A.P., Tikhomirov A.YU. I dr. Osobennosti konstruksii spetsializirovannykh transportnykh sredstv dlya osvoyeniya severnykh i arkticheskikh
24. Litovskiy V.V. O fundamental'nykh prioritetakh formirovaniya infrastruktury Urala na baze innovatsionnykh tekhnicheskikh resheniy i razrabotok A.E. Yunitskogo // Eko-potentsial. - 2014. - №3 (7). - S. 69-84.
25. Kiselenko A.N., Sundukov Ye.YU. Primeneniye transportnykh sistem estakadnogo tipa v Yevropeyskoj i Priural'skoj Arktike // Aktual'nyye problemy, napravleniya i mekhanizmy razvitiya proizvoditel'nykh sil Severa - 2016: Materialy Pyatogo Vserossiyskogo nauchnogo seminar (21-23 sentyabrya 2016 g., Syktyvkar): v 2 ch. - Syktyvkar: OOO «Komi respublikanskaya tipografiya», 2016. - CH. II. - S. 171-175.
26. Storey K. Fly-in/fly-out: implications for community sustainability // Sustainability. - № 2. - pp. 1161-1181;
27. Silin A.N. Neftegazovyy Sever: sotsial'naya situatsiya i tekhnologiya yeye regulirovaniya: Monografiya. - M.: INFA-M, 2013. - 251 s.

O. Blagodeteleva

Moscow institue of architecture (state academia), Moscow
Postgraduate student of urbanistic
E-mail: blagodetel3@yandex.ru

УДК 711.4:504.06

ИЛЬИЧЕВ В.А., КОЛЧУНОВ В.И., БАКАЕВА Н.В., ЧЕРНЯЕВА И.В.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИЙ БИОСФЕРОСОВМЕСТИМОГО ГОРОДА

Раскрывается понятие доступности населению объектов инфраструктуры в рамках реализации функций биосферосовместимого города. Приводится классификация доступности функций города по территориальному, временному и персональному признакам. Предлагается алгоритм оценки доступности объектов инфраструктуры путем сравнения фактических значений показателей с нормативными. Приводится численная реализация разработанной методики на примере одного из микрорайонов г. Орла. Предлагаемая методика оценки доступности населению объектов инфраструктуры позволяет анализировать состояние территории с возможностью обоснования реконструкции существующей застройки. Численное распределение комплексного показателя доступности объектов инфраструктуры и дальнейшая оценка реализуемости функций биосферосовместимого города позволяет выполнить анализ градостроительных проектных решений и инноваций градостроительства, способствующих полноценному развитию человека и повышению человеческого потенциала.

Ключевые слова: биосферосовместимый город, функции города, объекты городской инфраструктуры, территориальная доступность, временная доступность, персональная доступность, градостроительство.

Города, как места сосредоточения основной массы населения, призваны исторически обеспечивать их жителям высокое, экологически обоснованное качество жизни. Одновременно с развитым комплексом экономики и культурным центром, города являются центрами возникновения основных экологических проблем. В условиях неблагоприятной экологической ситуации, сложившейся во многих городах России, формирование градостроительной политики в области планирования городской инфраструктуры, проектирования и строительства жилых микрорайонов целесообразно осуществлять на качественно новой основе.

По мнению многих ученых, именно экологизация городской среды, как мировая тенденция развития, (например, в России 2017 год объявлен годом экологии) является в настоящее время жизненно важной потребностью человечества. Об этом свидетельствуют Европейские «экологические» директивы разных лет, Конференция по климату в Париже (2015 г), Копенгагенское соглашение (2009 г), Киотский Протокол (1997 г) и другие документы.

Российской академией архитектуры и строительных наук (РААСН) разработана *парадигма биосферосовместимости (концепция биосферной совместимости регионов, городов и поселений)*, подкрепленная междисциплинарными научными исследованиями, и направленная на обеспечение безопасности и комфортности инженерных, социальных и природно-техногенных систем поселений [1,2,3 и др.]. Одним из принципов данной концепции является принцип об удовлетворении рациональных потребностей населения через функции города: *жизнеобеспечение, развлечения и отдых, власть, милосердие, знания, творчество и связь с природой* [2].

Для решения градостроительных задач представляется важным количественная оценка функций города, которая позволяет сделать их измеримыми, то есть, зная потребности человека из различных социальных слоев, по затрачиваемому на их удовлетворение времени можно оценить *доступность и реализуемость (полноту)* соответствующих услуг города. Например, сколько времени может человек побыть в театре, музее в период некоторого времени, если бы все жители захотели там побывать. С научной точки зрения для ре-

шения задач территориального планирования, градостроительного зонирования, планировки и реконструкции городских территорий выдвигается гипотеза о равнозначности территориальной, временной и персональной доступности человеку функций города, соответствующих его рациональным потребностям, и обеспечивающих безопасные и комфортные условия проживания. Исчисления целесообразно вести на год, нормировать время реализации каждой функции для человека на основании статистических данных для развитых городов в зависимости от места жительства, климатических факторов, условий жизнедеятельности, этнических предпочтений и др. [1, 2].

С позиции доступности объектов городской инфраструктуры можно оценить *время*, предоставляемое городом каждому жителю на удовлетворение его потребностей. Естественно, что требуемое время зависит от возраста, социальной принадлежности, трудовой занятости и потребностей городского населения. Статистически его можно зафиксировать, затем результаты сравнивать либо для разных городов, либо одного города в историческом разрезе с уровнем развития населения. Таким образом, можно определить оптимальные показатели с точки зрения развития человеческого потенциала в городе, и соответственно целенаправленно внести изменения в городскую структуру. Тогда средствами архитектурно-строительного проектирования индикатор «*время, предоставленное человеку для удовлетворения его рациональных потребностей*» может быть заложено как показатель генерального плана поселения.

Понятие «доступности» интерпретируется в нескольких значениях. Применительно к объектам городской инфраструктуры можно выделить следующие три подхода:

- с точки зрения удобства их территориального расположения (территориальная доступность);
- с точки зрения доступа к ним по времени (временная доступность);
- с точки зрения доступа их определенным категориям населения, в т.ч. и по стоимости услуг (персональная доступность).

Фактор местоположения объектов городской инфраструктуры становится критически важным для создания комфортной и обеспечения безопасной среды жизнедеятельности в городах и является основополагающим в определении составляющей территориальной доступности.

С позиции принципов биосферной совместимости в качестве критерия территориальной доступности $\alpha_{\text{тер}}$ объектов городской инфраструктуры предлагается радиус обслуживания населения учреждениями и предприятиями, размещаемыми в жилой застройке в пределах одного микрорайона. Для того чтобы определить показатель доступности, необходимо сравнить фактическое значение радиуса обслуживания населения с нормативным (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение фактического и нормативного значения $\alpha_{\text{тер}}^{\Phi}$ и $\alpha_{\text{тер}}^{\text{н}}$

Сравнение фактического $\alpha_{\text{тер}}^{\Phi}$ и нормативного значения $\alpha_{\text{тер}}^{\text{н}}$	Присвоенное экспертами значение показателя территориальной доступности $\alpha_{\text{тер}}$
$\alpha_{\text{тер}}^{\Phi} \leq 0,5 \alpha_{\text{тер}}^{\text{н}}$	1
$0,5 \alpha_{\text{тер}}^{\text{н}} < \alpha_{\text{тер}}^{\Phi} \leq \alpha_{\text{тер}}^{\text{н}}$	0,5
$\alpha_{\text{тер}}^{\Phi} > \alpha_{\text{тер}}^{\text{н}}$	0
<i>Примечание:</i> $\alpha_{\text{тер}}^{\Phi}$ - фактический радиус обслуживания населения, т.е. фактическое кратчайшее расстояние до объекта обслуживания; $\alpha_{\text{тер}}^{\text{н}}$ - радиус обслуживания населения учреждениями и предприятиями, размещаемыми в жилой застройке в соответствии с нормами (СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений).	

Показатель территориальной доступности должен учитывать удаленность объекта от центра тяготения, близость объекта к транспортным магистралям, к станциям метрополитена и остановкам наземного транспорта в соответствии с нормативной документацией на проектирование. Поэтому, в понятие территориальной доступности входит также понятие транспортной доступности [4,5]. Так, если необходимо определить показатель территориальной доступности в пределах города или городского поселения, то нужно также учитывать доступность общественного транспорта $d_{тр}$ (таблица 2) и близость объекта к станциям метрополитена и остановкам наземного транспорта $m_{ост}$ (таблица 3).

Таблица 2 – Значения показателя доступности общественного транспорта $d_{тр}$

Характеризуемый параметр	Присвоенное экспертами значение показателя $d_{тр}$
Количество видов общественного транспорта, идущих до объекта: 0	0
1-2	0,5
4 и более	1
Время передвижения на общественном транспорте: $t^{\Phi} > t^H$	0
$0,5 t^H < t^{\Phi} \leq t^H$	0,5
$t^{\Phi} \leq 0,5 t^H$	1
<i>Примечание:</i> t^{Φ} – фактическое время, затрачиваемое пассажиром при передвижении на общественном транспорте до объекта; t^H – нормативные (оптимальные или рационально возможные) затраты времени, необходимые на передвижение о мест проживания до конечного объекта.	

Таблица 3 – Сравнение фактического и нормативного значения $m_{ост}^{\Phi}$ и $m_{ост}^H$

Сравнение фактического $m_{ост}^{\Phi}$ и нормативного значения $m_{ост}^H$	Присвоенное экспертами значение показателя $m_{ост}$
$m_{ост}^{\Phi} \leq 0,5 m_{ост}^H$	1
$0,5 m_{ост}^H < m_{ост}^{\Phi} \leq m_{ост}^H$	0,5
$m_{ост}^{\Phi} > m_{ост}^H$	0
<i>Примечание:</i> $m_{ост}^{\Phi}$ – фактическая дальность пешеходных подходов от объекта до ближайшей остановки общественного пассажирского транспорта (или станции метрополитена); $m_{ост}^H$ – нормативная дальность пешеходных подходов от объекта до ближайшей остановки общественного пассажирского транспорта (или станции метрополитена).	

Показатель территориальной доступности в пределах города при использовании общественного транспорта в случае невозможности добраться до объекта пешим путем, будет рассчитываться следующим образом:

$$\alpha_{тер} = (d_{тр} + m_{ост}) / 2 . \quad (1)$$

Если передвижения до центра тяготения совершаются на личном автомобильном транспорте, то показатель территориальной доступности будет зависеть от следующих факторов:

$$\alpha_{тер} = f(K_{АД}, I_{АТ}, T), \quad (2)$$

где $K_{АД}$ - качество автомобильной дороги;

$I_{АТ}$ - интенсивность движения автомобилей;

T - время, затрачиваемое на поездку.

Иногда возникает необходимость сопоставить затраты времени на преодоление расстояния между двумя пунктами. В этом случае, возможно дать оценку доступности по показателю территориально-временной доступности $\alpha_{т-вр}$, который будет зависеть от общего времени, затрачиваемого на преодоление расстояния между двумя пунктами (таблица 4).

Таблица 4 - Значения показателя территориально-временной доступности $\alpha_{т-вр}$

Общее время, необходимое для преодоления расстояния между двумя пунктами	Присвоенное экспертами значение показателя $\alpha_{т-вр}$
В пределах города: $T^{\Phi} > T^{\text{н}}$	0
$0,5 T^{\text{н}} < T^{\Phi} \leq T^{\text{н}}$	0,5
$T^{\Phi} \leq 0,5 T^{\text{н}}$	1
В пределах одного транспортного района: $T^{\Phi} > 5 \text{ мин}$	0
$T^{\Phi} \leq 5 \text{ мин}$	1
<i>Примечание:</i> T^{Φ} – фактическое время, необходимое для преодоления расстояния между двумя пунктами; $T^{\text{н}}$ - нормативные (оптимальные или рационально возможные) затраты времени на преодоление расстояния между двумя пунктами.	

Показатель временной доступности $\alpha_{вр}$ определяется доступом на объект по времени (таблица 5).

Таблица 5 - Значение показателя временной доступности объекта $\alpha_{вр}$

Режим работы объекта по времени	Присвоенное экспертами значение показателя $\alpha_{вр}$
объект не доступен по времени (закрит временно или постоянно)	0
1-4 часа в сутки	0,3
5-9 часов в сутки	0,5
10 и более часов в сутки	0,8
круглосуточно без перерыва	1

Показатель персональной доступности определяется уровнем жизни населения, который можно определить как сложную социально-экономическую категорию, отражающую степень удовлетворения потребностей населения в материальных благах и нематериальных услугах, а также условия в обществе для развития и удовлетворения этих потребностей в рамках функций города. В широком смысле понятие «уровень жизни населения» включает условия труда и занятости, быта и досуга, образования, а также характеризует состояние здоровья, природную среду обитания и т. д. В этом случае употребляют термин «качество жизни» или «образ жизни».

В количественном отношении показатель персональной доступности объекта для населения $\alpha_{пер}$ может быть определен оценочными категориями безопасности путей движения, а также мест проживания, мест обслуживания и мест приложения труда, индексом развития человеческого потенциала, платежеспособным спросом населения на услуги, а также среднемесячным доходом как средневзвешенной величиной по удельному весу распределения жителей по доходам [6].

Представляет интерес количественная оценка показателя персональной доступности определенным категориям населения, в частности маломобильным группам населения (МГН),

как наименее социально защищенной категории. Показатель персональной доступности объектов социальной инфраструктуры и услуг в приоритетных сферах жизнедеятельности инвалидов и других МГН $\alpha_{МГН}$ может определяться в соответствии с нормативной документацией (в частности, СП 59-13330-2011. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения) [7]. Для этого необходима визуальная и инструментальная оценка входной группы объекта, путей движения, зоны оказания услуги, санитарно-бытовых помещений, средств информации и коммуникации, а также территории объекта. Таким исследованиям посвящены работы ученых РААСН, в частности [8,9], в которой предлагаются показатели для количественной оценки доступности и реализуемости инфраструктуры городской среды для маломобильных групп населения.

Оценка объекта с позиции его персональной доступности для МГН может быть дана на основе значений показателей таблицы 6.

Таблица 6 - Значение показателя доступа объекта МГН $\alpha_{МГН}$

Вывод о доступности объекта в результате оценки	Присвоенное экспертами значение показателя $\alpha_{МГН}$
объект не доступен	0
объект частично доступен	0,5
объект полностью доступен	1

Фактический показатель доступности объекта по стоимости предоставляемых услуг $\alpha_{ст}$ зависит от индекса потребительских цен (тарифов) на товары или услуги (% к предыдущему году) I_p , а также от стоимости фиксированного набора потребительских товаров и услуг, в % к среднероссийской стоимости S_p .

В таблице 7 приводится сравнение фактических показателей доступности объекта по стоимости предоставляемых услуг с наиболее рациональными (оптимальными) значениями.

Таблица 7 - Значение показателей доступности объекта по стоимости услуг

Сравнение фактического $\alpha_{ст}^{I\Phi}$ и рационального значения	Присвоенное экспертами значение показателя $\alpha_{ст}^I$
$\alpha_{ст}^{I\Phi} \leq 3,5\%$	1
$3,5\% < \alpha_{ст}^{I\Phi} \leq 10\%$	0,5
$\alpha_{ст}^{I\Phi} > 10\%$	0
Сравнение фактического $\alpha_{ст}^{S\Phi}$ и рационального значения	Значение показателя $\alpha_{ст}^S$
$\alpha_{ст}^{S\Phi} \leq 80\%$	1
$80\% < \alpha_{ст}^{S\Phi} \leq 100\%$	0,5
$\alpha_{ст}^{S\Phi} > 100\%$	0

Таким образом, показатель доступности объекта по стоимости предоставляемых услуг будет определяться по формуле:

$$\alpha_{ст}^{\Phi} = (\alpha_{ст}^I + \alpha_{ст}^S) / 2. \tag{3}$$

Для сравнительного анализа доступности объектов городской инфраструктуры может быть использована обобщенная функция желательности Харрингтона в виде конкретного числа [10], которая явится количественным показателем качества исследуемого объекта.

Комплексный показатель доступности объектов городской инфраструктуры, учитывающий территориальную, территориально-временную, временную и персональную ее составляющие будет иметь вид:

$$\alpha = \sqrt[4]{k_1 \cdot \alpha_{мер} \times k_2 \cdot \alpha_{м.вр} \times k_3 \cdot \alpha_{вр} \times k_4 \cdot \alpha_{пер}}. \quad (4)$$

Значения параметров доступности должны соответствовать принятым градостроительным и экологическим нормативам, а также социальным стандартам качества жизни, определяющим в качестве критериальных значений возможность обеспечения безопасной и создания комфортной среды жизнедеятельности при реализации функций биосферосовместимого города.

Пример расчета. Выполним численную реализацию методики определения показателей доступности населению объектов инфраструктуры при реализации функций города на примере одного из микрорайонов города ЦФО РФ и определим территориальную, территориально-временную, временную и персональную доступность его объектов населению.

Микрорайон «Зареченский» является самым крупным и динамично развивающимся микрорайоном г. Орла. Площадь земельных участков, предназначенных для строительства многоквартирных домов и объектов социальной инфраструктуры, составляет более 200 гектаров (рисунок 1). К настоящему времени введено в эксплуатацию сорок многоквартирных домов, общей площадью 280 тыс. квадратных метров. Для обеспечения жителей доступными социальными услугами предусмотрено размещение объектов социально - культурного назначения.



Рисунок 1 - 3D-план микрорайона «Зареченский»

В настоящее время завершено строительство ледовой арены, детского сада на 230 мест и общеобразовательной школы на 550 учащихся. Ведется строительство еще одного детского сада на 230 мест. Кроме построенной школы, на территории микрорайона предусмотрено размещение трех общеобразовательных школ на 1728 учащихся, на 1296 учащихся и на 844 учащихся. Так же, предусмотрено размещение еще четырех детских садов на 230 мест каждый. Для медицинского обеспечения населения предусмотрено размещение поликлиники на 750 посещений в день. На территории микрорайона действует торговый комплекс «Европа» и множество объектов торговли и общественного питания.

В микрорайоне существует деление не только на улицы, но также и на кварталы, которые имеют следующие названия: Алмазные Долины, Крылья Федерации, Тихая Роща, Альпийская Поляна, Изумрудная Поляна и Альтаир. В качестве объектов исследования рассматриваются такие социально-значимые объекты как школа, детский сад, ледовая арена, торговый центр, филиал детской поликлиники (рисунок 2).

Комплексный показатель доступности населению объектов городской инфраструктуры определялся по формуле (4) с учетом установленных составляющих: территориальной, территориально-временной, временной и персональной доступности его объектов.

На рисунке 3 представлена диаграмма численного распределения значений комплексного показателя доступности населению объектов городской инфраструктуры, полученного для жилых кварталов микрорайона «Зареченский» г. Орла.

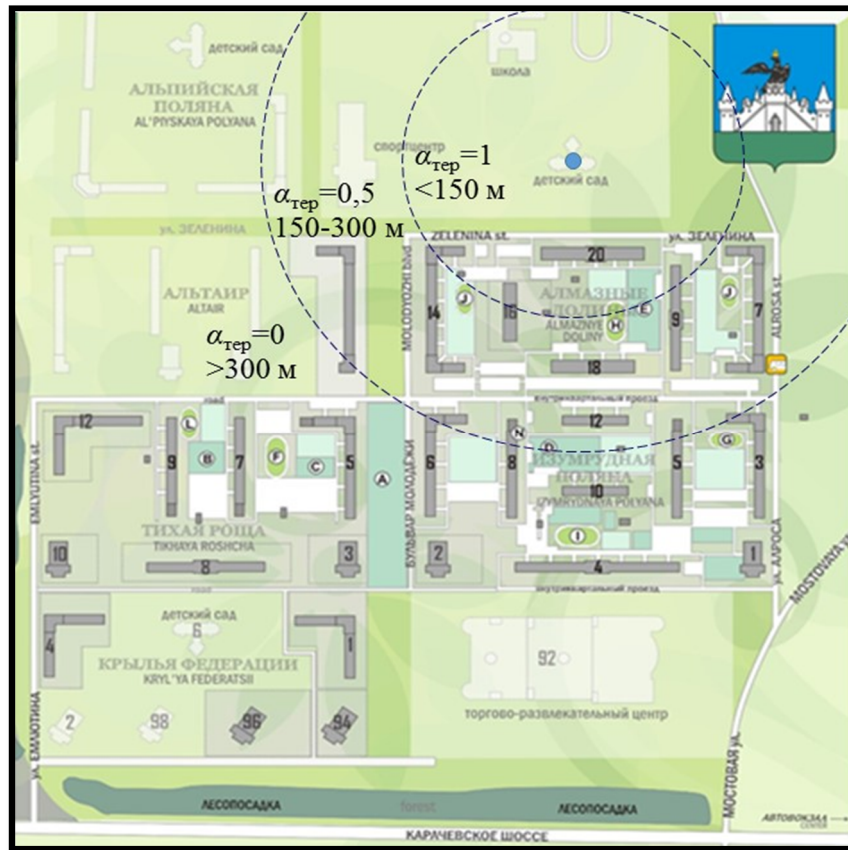


Рисунок 2 - Разделение территории микрорайона на зоны территориальной доступности детского сада

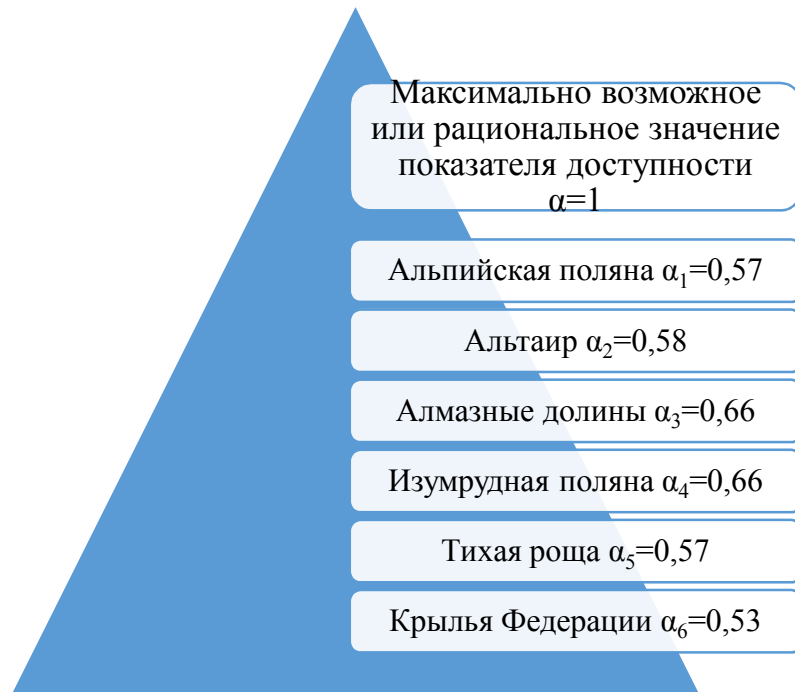


Рисунок 3 - Диаграмма численного распределения показателей доступности населению объектов инфраструктуры при реализации функций биосферосовместимого города на примере микрорайона «Зареченский» г. Орла

Несложно видеть, что уровень доступности объектов на примере отдельно взятого микрорайона (в качестве объекта был выбран детский сад) является невысоким. Эта проблема носит системный характер. Во многих городах России в последнее время появилось множество новых микрорайонов, главным показателем для которых стало количество квадратных метров жилья на застраиваемой площади даже в ущерб объектам социальной инфраструктуры и в нарушении норм.

Выводы. Предлагаемая методика оценки доступности населению объектов инфраструктуры позволяет анализировать состояние территории с возможностью оценки эффективности градостроительных проектных решений, а также возможности обоснования реконструкции существующей застройки. В частности, индикатор доступности объектов инфраструктуры может быть заложен как показатель генерального плана.

Полученные результаты исследований подчеркивают необходимость и целесообразность дальнейшей разработки научно-обоснованных рекомендаций по обеспечению безопасной и создания комфортной среды жизнедеятельности человека при планировании новых и развитии существующих городских микрорайонов, в основе которых должен быть заложен принцип реализации функций биосферосовместимого города в целях оптимального удовлетворения рациональных потребностей человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильичев, В.А. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека [Текст] / В.А. Ильичев // Научно-технический и производственный журнал «Промышленное и гражданское строительство». – М.: ООО «Издательство ПГС», 2010. – № 6. – С. 3-13.
2. Ильичев, В.А. Предложения к Доктрине градостроительства и расселения (стратегического планирования городов) [Текст] / В.А. Ильичев, А.М. Каримов, В.И. Колчунов, В.В. Алексашина, Н.В. Бакаева, С.А. Кобелева // Жилищное строительство. – М., 2012. – №1. – С.2-11.
3. Ильичев, В.А. Может ли город быть биосферосовместимым и развивать человека? [Текст] / В.А. Ильичев // Архитектура и строительство Москвы. – 2009. – № 2 (544). – С.8–13.
4. Бакаева, Н.В. Оценка вклада транспортной инфраструктуры в реализацию функций биосферосовместимого города [Текст] / Н.В. Бакаева, И.В. Шишкина // Градостроительство, 2012. – №1/17. – С. 51-59.
5. Бакаева, Н.В. Методика расчета обобщенных критериев оценки состояния территориальной автотранспортной системы на основе концепции биосферной совместимости [Текст] / Н.В. Бакаева, И.В. Шишкина // Academia. Архитектура и строительство, 2011. – №4. – С. 112-117.
6. Бакаева, Н.В. Функции биосферосовместимого города и их доступность человеку [Текст] / И.В. Черняева // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии, 2016. – № 3(15). - С. 63-72.
7. СП 59-13330-2011. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения.
8. Колчунов, В.И. К оценке составляющей «Здравоохранение» при реализации функций города для маломобильных групп населения [Текст] / В.И. Колчунов, Е.В. Брума // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии, 2013. – № 2 (46). – С. 94-98.
9. Колчунов, В.И. Методика расчета показателя доступности общественных зданий и сооружений маломобильным группам населения [Текст] / Колчунов В.И., Скобелева Е.А., Брума Е.В. // Строительство и реконструкция. Орел: Госуниверситет-УНПК, 2013. – №4. – С. 60-68.
10. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – Москва: Наука, 1976. – 279 с.

Ильичев Вячеслав Александрович

Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН), г. Москва
Академик РААСН,
Доктор технических наук, профессор
E-mail: raasn@raasn.ru

Колчунов Виталий Иванович

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск
Академик РААСН,
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Уникальные здания и сооружения»
E-mail: asiorel@mail.ru

Бакаева Наталья Владимировна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Советник РААСН

доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство»

E-mail: natbak@mail.ru

Черняева Ирина Викторовна

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел

кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство автомобильных дорог»

E-mail: schunya87@yandex.ru

V. ILYICHEV, V. KOLCHUNOV, N. BAKAYEVA, I. CHERNYAEVA

**QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE AVAILABILITY
OF INFRASTRUCTURE FOR IMPLEMENTING FEATURES
BIOSPHERE COMPATIBLE CITY**

The concept of availability to the population infrastructure, in the framework of the functions biospherecompatibility city. The classification of availability of the functions of the city according to the territorial, temporal and personal characteristics. The algorithm estimates the availability of infrastructure by comparing the actual indicators from the normative. Provides a numerical implementation of the developed methodology on the example of one of microdistricts of Orel. Proposed method of estimation of availability to the population infrastructure allows you to analyze the state of the area with the ability to assess the effectiveness of urban design decisions, as well as the ability to justify the reconstruction of existing buildings. The numerical distribution of the complex index of availability of infrastructure and ongoing assessment of realizability functions biospherecompatibility city allows to analyse the urban development of design solutions and innovation of urban development conducive to proper human development and increasing human potential.

Keywords: biosphericcompatibility city, city functions, urban infrastructure, territorial accessibility, temporal accessibility, personal affordability, the structure of the city

BIBLIOGRAPHY

1. Ilichev, V.A. Printsipyi preobrazovaniya goroda v biosferosovmestimyy i razvivayuschiy cheloveka [Tekst] / V.A. Ilichev // Nauchno-tehnicheskii i proizvodstvennyi zhurnal «Promyishlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo». – М.: ООО «Izdatelstvo PGS», 2010. – № 6. – С. 3-13.
2. Ilichev, V.A. Predlozheniya k Doktrine gradoustroystva i rasseleniya (strategicheskogo planirovaniya gorodov) [Tekst] / V.A. Ilichev, A.M. Karimov, V.I. Kolchunov, V.V. Aleksashina, N.V. Bakaeva, S.A. Kobeleva // Zhilishchnoe stroitelstvo. – М., 2012. – №1. – С.2-11.
3. Ilichev, V.A. Mozhet li gorod byit biosferosovmestimyy i razvivat cheloveka? [Tekst] / V.A. Ilichev // Arhitektura i stroitelstvo Moskvyi. – 2009. – № 2 (544). – С.8–13.
4. Bakaeva, N.V. Otsenka vklada transportnoy infrastrukturyi v realizatsiyu funktsiy biosferosovmestimogo goroda [Tekst] / N.V. Bakaeva, I.V. Shishkina // Gradostroitelstvo, 2012. – №1/17. – С. 51-59.
5. Bakaeva, N.V. Metodika rascheta obobschennykh kriteriev otsenki sostoyaniya territorialnoy avto-transportnoy sistemyi na osnove kontseptsii biosfernoy sovместимости [Tekst] / N.V. Bakaeva, I.V. Shishkina // Academia. Arhitektura i stroitelstvo, 2011. – №4. – С. 112-117.
6. Bakaeva, N.V. Funktsii biosferosovmestimogo goroda i ih dostupnost cheloveku [Tekst] / I.V. Chernyaeva // Biosfernaya sovместимost: chelovek, region, tehnologii, 2016. – № 3(15). – С. 63-72.
7. SP 59-13330-2011. Dostupnost zdaniy i sooruzheniy dlya malomobilnykh grupp naseleniya.
8. Kolchunov, V.I. K otsenke sostavlyayushey «Zdravoohranenie» pri realizatsii funktsiy goroda dlya malomobilnykh grupp naseleniya [Tekst] / V.I. Kolchunov, E.V. Bruma // Biosfernaya sovместимost: chelovek, region, tehnologii, 2013. – № 2 (46). – С. 94-98.
9. Kolchunov, V.I. Metodika rascheta pokazatelya dostupnosti obschestvennykh zdaniy i sooruzheniy malomobilnyim gruppam naseleniya [Tekst] / Kolchunov V.I., Skobeleva E.A., Bruma E.V. // Stroitelstvo i re-konstruktsiya. Orel: Gosuniversitet-UNPK, 2013. – №4. – С. 60-68.
10. Adler, Yu.P. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnykh usloviy [Tekst] / Yu.P. Adler, E.V. Markova, Yu.V. Granovskiy. – Moskva: Nauka, 1976. – 279 s.

V. Ilyichev

Academician of the Russian Academy of architecture and construction Sciences (RAACS),
Moscow
Doctor of technical Sciences, professor
E-mail: raasn@raasn.ru

V. Kolchunov

South-West State University, Kursk
Academician of the Russian Academy of architecture and construction Sciences (RAACS),
Doctor of technical Sciences, professor
E-mail: asiorel@mail.ru

N. Bakaeva

South-West State University, Kursk
Doctor of technical Sciences, professor of department «Civil engineering»
E-mail: natbak@mail.ru

I. Chernyaeva

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Candidat of Technical Sciences, assistant professor of the Construction of Highways Department
E-mail: schunya87@yandex.ru

СЫСОЕВА Е.В., ТРУШИН С.И.

ИСТОРИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ЦИРКОВ РОССИИ

Статья посвящена истории проектирования, строительства и реконструкции трех наиболее известных цирков России – Саратовского, Санкт-Петербургского и Московского. Проанализированы появление и эволюция деревянных и каменных зданий цирков с конца XIX века, подробно описаны конструктивные системы куполов, их особенности и отличия, размеры и материалы. Представлены чертежи и фотографии конструктивных узлов покрытий с подробным описанием. Рассказана история строительства и реконструкции этих зданий с момента их появления в городах до настоящего времени. Дано подробное описание всех этапов реконструкции и описание несущих конструкций покрытия трех перечисленных цирков. Дан сравнительный анализ конструктивных решений этих покрытий. Отмечена необходимость разработки современных нормативных документов, определяющих требования к проектированию зданий цирков, учитывая появление новых эффективных строительных материалов и технологий, а также значительный прогресс в области расчета пространственных конструкций зданий и сооружений.

Ключевые слова: цирк, манеж, купол, проектирование, покрытие.

Здание первого в мире цирка круглой формы, названное в дальнейшем «Амфитеатром Астлей», было построено в Лондоне по инициативе английского кавалериста Филипа Астлей (англ. Philip Astley) в 1768 г. Другой цирковой предприниматель Чарльз Дибдин придумал для такого типа зданий название "Королевский цирк и конная филармоническая академия" (Royal Circus and Equestrian Philharmonic Academy) [1, 2]. Так появилось название здания с круглым манежем - цирк (от лат. "circus"- "круг"). Диаметр арены (от лат. «arena» - песок) колеблется от 11 до 13 метров (для тренировочных манежей – от 9 м). Форма и стандартный размер впервые были установлены в 1807 г. в Париже Л. и Э. Франкони [1]. С конца XVIII века «конный цирк стал наиболее любимым зрелищем дворянской молодежи, интересы и вкусы которой определил репертуар цирка» [3]. Одинаковый по всему миру диаметр арены цирка дает возможность легко устанавливать цирковую аппаратуру в любом городе [1].

Стационарные каменные здания цирков в России начали строить в конце XIX века. После пожаров нескольких деревянных цирков начала XIX века были построены капитальные здания в Саратове (1876 г.), Петербурге (1877 г.), Москве (1880 г.), Астрахани (1898 г.), др.



*Рисунок 1 – Деревянное здание цирка с парусиновой крышей, г. Саратов, Митрофаньевская площадь (ныне площадь Кирова)
(Источник: <http://sarcircus.ru>)*



*Рисунок 2 – Саратовский цирк, 1931 г.
(Источник: saratovregion@rambler.ru)*

В 1876 году в Саратове на торговой Митрофаньевской площади (ныне площадь Кирова) был построен первый деревянный цирк с парусиновой крышей «временного типа» (рис. 1).

В 1931 г. закончено строительство каменного здания цирка на улице Чапаева (рис. 2) на 3000 мест с деревянным куполом (рис. 3), рядом с площадью Кирова. Авторами проекта стали архитекторы Б. Виленский и др. [4, 5]. Пролет, покрытый серповидными деревянными арочными фермами, составлял примерно 48 м [6]. После реконструкции 1959-1963 гг. вместо деревянных были установлены 28 металлических арочных ферм на железобетонном опорном контуре. Расстояние между фермами по дуге составляло примерно 5,4 м. Строительная высота ферм составляла около 2 м на верхнем опорном кольце и сужалась в нижнем железобетонном кольце. Для монтажа металлических ферм была установлена центральная мачта, удерживаемая тросами по контуру, которая была демонтирована после установки ферм на расчетное место (рис. 4).



*Рисунок 3 – Деревянные фермы купола цирка в Саратове, 1929 г.
(Источник: <http://oldsaratov.ru>)*



*Рисунок 4 – Купол цирка во время реконструкции 1959-1963 гг., г. Саратов
(Источник: djhooligantk.livejournal)*



Рисунок 5 – Реконструкция Ленинградского цирка (1927 г.). Источник: [8]



*Рисунок 6 – Демонтаж деревянного настила купола Ленинградского цирка (1963 г.)
Источник: [8]*

В 1876-1877 гг. в Петербурге, вскоре после строительства деревянного здания Саратовского цирка, было построено каменное здание цирка на набережной реки Фонтанки по проекту архитектора В.А. Кенеля. Инициатором строительства стал итальянский наездник и дрессировщик Гаэтано Чинизелли, имя которого не забыто и в настоящее время. Диаметр манежа

составляет 13 м. Внутреннее безопорное пространство здания цирка в Петербурге перекрыто куполом ребристой конструкции диаметром 49,7 м. Покрытием служит ребристо - кольцевая металлическая конструкция системы И. В. Шведлера, в которой созданы крестовые связи в каждой ячейке четырехпоясной системы [7]. Благодаря таким связям значительно повышена жесткость купола. В верхней части здания установлено металлическое опорное кольцо, на которое опираются конструкции покрытия. Вес металлических конструкций составляет 28,7 кг/м² (рис. 5).

Первая реконструкция проведена в 1959-1964 гг. В 1963 году были выполнены демонтаж деревянного настила купола (рис. 6) и замена его на железобетонное.

В результате реставрации 2002 года были воссозданы скульптурный и лепной декор фасада, утраченные в 1930-е и в начале 1960-х годов. К сентябрю 2003 года ризалиту вернули исторический облик.



Рисунок 7 – Монтаж нового дублирующего несущего купола Санкт-Петербургского цирка, 2015 г. Источник: [8]



Рисунок 8 – Подкупольное пространство здания цирка на Фонтанке (2016 г.) (Источник: фото авторов)

В 2014 году здание цирка Чинизелли (или цирка на Фонтанке) было снова закрыто на ремонтно-реставрационные работы. Поскольку имеющиеся несущие конструкции купола уже не могли воспринимать требуемую нагрузку, был создан еще один купол, находящийся на расстоянии примерно 3 м выше старого (рис. 7). Новый купол несет нагрузку не только от цирковой аппаратуры (рис. 8), но и от веса старого исторического купола. Сверху на купол установлен исторический фонарь с 6-метровым шпилем. Современное здание вмещает более 1800 зрителей (рис. 9).

В здании появились удобные гримерные с туалетами и душевыми для артистов, что не часто встречается в других зданиях цирков.

В цирке на Фонтанке создан первый в мире музей цирка, бережно хранящий всю историю строительства не только собственного здания, но цирка как вида искусства и истории жизни артистов многих цирковых поколений. Купол отнесен к выдающимся памятникам достижений науки и техники, а здание цирка теперь является объектом культурного наследия регионального значения.

Именно этот музей цирка хранит память о первом изоляционном материале покрытия цирка на Фонтанке – пробкового тепло- и звукоизоляционного слоя, являющегося экологичным и одновременно легким. Материал был демонтирован и заменен на минераловатный утеплитель с гидро- и ветроизоляционным синтетическим слоем.



Рисунок 9 – Цирк на Фонтанке (2015 г.) (Источник: <http://www.fiesta.city/spb/routes/nado-znat-fontanka/>)

В 1880 г. Альберт Саламонский, цирковой предприниматель, наездник и дрессировщик лошадей [9], после гастролей в Германии, стал инициатором строительства стационарного каменного цирка в Москве на Цветном бульваре. Первый московский цирк (рис. 10) был построен уже к октябрю 1880 г. по проекту русского архитектора (австрийского происхождения) Августа Егоровича Вебера.



Рисунок 10 – Цирк на Цветном Бульваре, г. Москва, фото 1901 г. (Источник: <https://pastvu.com/p/1226> - архив ЦИГИ)

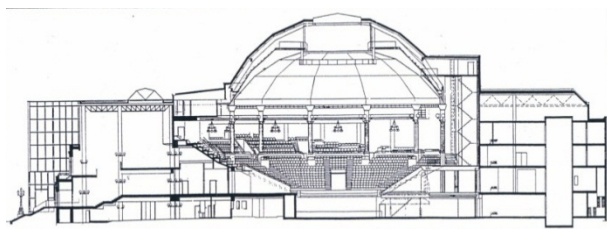


Рисунок 11 – Разрез здания цирка на Цветном бульваре, г. Москва (1989 г.) (Источник: архив Московского цирка Никулина на Цветном бульваре)

Но в 1985 г. здание было снесено из-за ветхости стен, его небольшой вместимости (около 1500 чел.) и требований постановочной технологии [10]. Через два года начато проектирование нового здания. Архитекторами проекта стали В. Красильников (руководитель авторского коллектива), А. Агафонов, Н. Кудряшев, при участии А. Фроловой, И. Тверитиной, главным инженером - В. Дибнер, конструктором В. Мириманов (Гипротеатр). В проекте участвовала также группа архитекторов под руководством К. Вартола и М. Тоссавайнена (архитектурное бюро «Калле Вартола»).

На свайном фундаменте было построено трехэтажное сборно-монолитное железобетонное здание с цокольным этажом, куполом диаметром 48 м и высотой от манежа до нижней части купола 23 м.

Все подкупольное пространство над амфитеатром и манежем перекрыто двумя сводами, верхний из которых является несущей опорой для всей цирковой аппаратуры, необходимой для обслуживания цирковых номеров, а нижний – исторический (рис. 11).

Несущими элементами купола являются полые металлические трубы прямоугольного

сечения, сужающиеся к нижней опоре на капителях колонн и расширяющиеся у верхнего опорного кольца (рис. 12). Расстояние между сборными полуарками на нижней опоре 10 м (рис. 13).

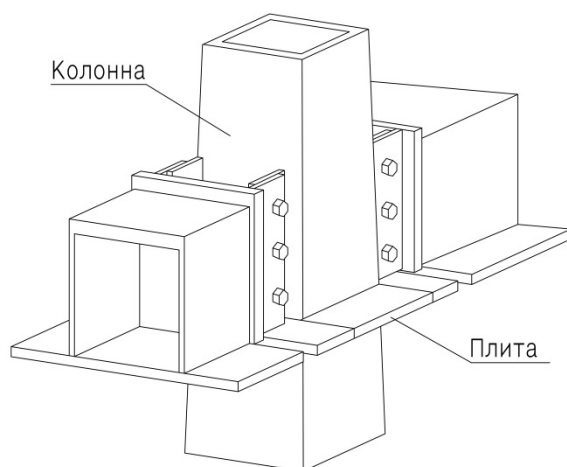


Рисунок 12 - Узел соединения элементов металлических труб покрытия здания цирка на Цветном бульваре, г. Москва (1989 г.) (Источник: материалы цирка Никулина на Цветном бульваре)

Рисунок 13 – Трубы прямоугольного сечения несущей системы покрытия цирка на Цветном бульваре (Источник: фото авторов)

Каждое ребро - полуарка состоит из четырех прямолинейных металлических трубчатых элементов, расширяющихся книзу. Сборные элементы соединены между собой и с металлической колонной при помощи металлических пластин (рис. 14).

Размер манежа по-прежнему остался 13 м; добавлен еще один репетиционный манеж диаметром 9 м. Форма здания стала Г-образной.

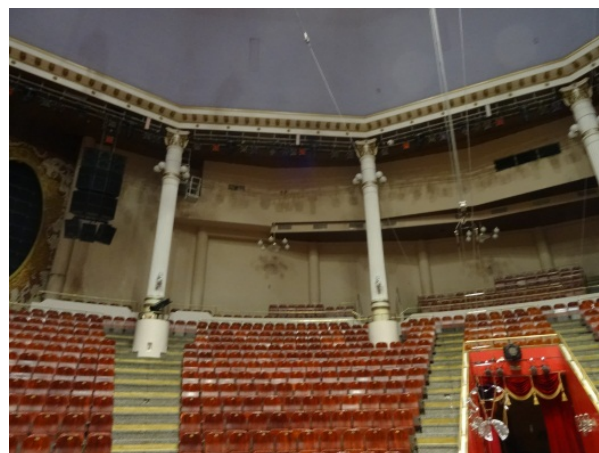


Рисунок 14 - Монтаж трубчатых металлических дискретных арок покрытия купола на колонны и верхнее опорное кольцо (Источник: материалы цирка Никулина на Цветном бульваре)

Рисунок 15 – Зал цирка на Цветном Бульваре: восстановленные исторические колонны, г. Москва (фото авторов)

Исторические колонны внутри зала восстановлены реставраторами по взятым перед строительством слепкам (рис. 15).

Проектирование длилось с 1985 по 1988 годы. Строительство производили финские строители совместно с бригадой из Моспромстроя с 1987 г. и в 1989 г. цирк принял своих первых зрителей (рис. 16).



Рисунок 16 - Цирк на Цветном бульваре, г. Москва (2016 г.) (Источник: фото авторов)

Вместимость цирка составляет более 2000 человек. Зрительный зал воспроизведен почти таким же, каким он был до реконструкции. Фойе с двухуровневой подсветкой стало еще просторнее (рис. 17, 18).



Рисунок 17 - Цирк на Цветном бульваре (лестница на второй этаж фойе), г. Москва (фото авторов)



Рисунок 18 – Цирк на Цветном Бульваре (круговое фойе), г. Москва (фото авторов)

Все три здания цирков, подвергшиеся неоднократным реконструкциям, а Московский даже заново построенный с учетом исторических чертежей, остаются уникальными историческими зданиями и в наши дни (таблица 1). Только Московское здание цирка имеет опорную конструкцию покрытия в виде металлических полых труб прямоугольного сечения; Петербургское здание имеет двойное покрытие (для сохранности исторической части покрытия) и самый большой безопорный пролет покрытия 48,7 м; изящность и простота серповидных ферм Саратовского цирка уникальна в первую очередь сохранностью здания с 1931 г.

Забота об исторических зданиях цирков городов России, желание сохранить архитектурное наследие страны говорит об актуальности искусства цирка, необходимости строительства новых, а в ряде случаев реконструкции построенных зданий. Важной задачей, в связи с этим, является создание современных нормативных документов, поскольку имеющиеся в настоящее время нормы проектирования потеряли во многом свою актуальность за последнее время ввиду появления новых материалов и технологий.

Таблица 1 – Сравнение покрытий зданий цирков

Место расположения	Пролет покрытия, м	Вместимость зала, чел.	Элементы несущей конструкции покрытия
г. Саратов, ул. Чапаева, 61	48	3000	Фермы арочного очертания с двумя опорными контурами
г. Санкт-Петербург, ул. Фонтанка, д. 3А	49,7	1800	Фермы арочного очертания с двумя опорными контурами
г. Москва, Цветной бульвар, 13	48	2000	Полые металлические трубы прямоугольного сечения

Благодарность

Авторы статьи выражают искреннюю благодарность за помощь при подготовке материалов директору музея Большого Санкт-Петербургского государственного цирка (г. Санкт-Петербург, ул. Фонтанка) Шайной Екатерине Юрьевне и начальнику службы постановочной техники и электротехнического оборудования Московского цирка Никулина на Цветном бульваре (г. Москва, Цветной бульвар) Тарасову Владимиру Анатольевичу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов, Е.М. Цирк. Происхождение. Развитие. Перспективы [Текст] / Е.М. Кузнецов. – М.: Искусство, 1971 - 416 с.
2. Кошкин, В. В. Конный цирк [Текст] / В.В.Кошкин. - М.: Изд-во «МИК», 2004. – 352 с.
3. Дмитриев, Ю.А. Цирк в России. От истоков до 1917 года. [Текст] / Ю.А. Дмитриев. – М.: Изд-во «Искусство», 1977. - 415 с.
4. Славский, Р. Под цирковым шатром. За далью лет. Заметки к истории Саратовского цирка. Часть 3 [Текст] / Р. Славский. — Саратов: Приволжское книжное изд-во, 1973. - 112 с.
5. Бондарь, Н.А. Саратов [Текст] / Н.А. Бондарь, И.Н. Стешин // Под общ. редакцией А.И. Осятинского. – М.: Гос. изд-во архитектуры и градостроительства, 1951. - 123 с.
6. Семенов, В.Н. Цирк Саратова. Ненаучное исследование истории циркового дела в городе на Волге [Текст] / В.Н.Семенов. – Саратов: Изд-во «Новый ветер», 2015. - 254 с.
7. Цирк Чинизелли. От создания до возрождения. [Текст] / Сост. Е. Ю. Шаина. – С-Пб.: Типография «НП-Принт», 2015. – 120 с.
8. Цирк Чинизелли. От создания до возрождения. Санкт Петербург. / Сост. Е. Ю. Шаина. – Санкт-Петербург, Типография «НП-Принт». 2015. – 120 стр., илл.
9. Большая Российская энциклопедия [Текст] / Глав. ред. С. О. Шмидт; Сост. М. И. Андреев, В. М. Карев. — М.: Энциклопедия, 1997. – 976 с.
10. Кудряшев, Н. Новый старый цирк и опыт сотрудничества [Текст] / Н. Кудряшев // Архитектура и строительство России. - 1990. - №4. - С. 20-25.

Сысоева Елена Владимировна

НИУ МГСУ, г. Москва

Кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования зданий и сооружений

E-mail: sev4279@yandex.ru**Трушин Сергей Иванович**

НИУ МГСУ, г. Москва,

Доктор технических наук, профессор кафедры строительной и теоретической механики

E-mail: trushin2006@yandex.ru

E. SYSOEVA, S. TRUSHIN**THE HISTORY OF DESIGN AND CONSTRUCTION
OF CIRCUSES IN RUSSIA**

The article is devoted to the history of design, construction and reconstruction of the three most famous circuses in Russia – Saratov, Saint-Petersburg and Moscow. The emergence and evolution of the wooden and stone circuses as buildings of the late nineteenth century are analyzed. The constructive system of the domes, their features and differences sizes and materials are described in details. Drawings and photographs of the components coatings with a detailed description are presented. The story of the construction and reconstruction of these buildings since their emergence in cities till the present time is told. A detailed description of all stages of reconstruction and description of supporting structures covering of the three mentioned circuses are done. Comparative analysis of constructive solutions of these coatings is shown. The need to develop a modern regulatory documents that define requirements for the design of buildings circuses, as new effective building materials and technologies, as well as significant progress in the analysis of the spatial structures is noted.

Keywords: circus, arena, dome, design, building covering.

BIBLIOGRAPHY

1. Kuznecov, E.M. Cirk. Proiskhozhdenie. Razvitie. Perspektivy [Tekst] / E.M. Kuznecov. – M.: Iskusstvo, 1971 - 416 s.
2. Koshkin, V. V. Konnyj cirk [Tekst] / V.V.Koshkin. - M.: Izd-vo «MIK», 2004. – 352 s.
3. Dmitriev, YU.A. Cirk v Rossii. Ot istokov do 1917 goda. [Tekst] / YU.A. Dmitriev. – M.: Izd-vo «Iskusstvo», 1977. - 415 s.
4. Slavskij, R. Pod cirkovym shatrom. Za dal'yu let. Zametki k istorii Saratovskogo cirka. CHast' 3 [Tekst] / R. Slavskij. — Saratov: Privolzhskoe knizhnoe izd-vo, 1973. - 112 s.
5. Bondar', N.A. Saratov [Tekst] / N.A. Bondar', I.N. Steshin // Pod obshch. redakciej A.I. Osyatinskogo. – M.: Gos. izd-vo arhitektury i gradostroitel'stva, 1951. - 123 s.
6. Semenov, V.N. Cirk Saratova. Nenauchnoe issledovanie istorii cirkovogo dela v gorode na Volge [Tekst] / V.N.Semenov. – Saratov: Izd-vo «Novyj veter», 2015. - 254 s.
7. Cirk CHinizelli. Ot sozdaniya do vozrozhdeniya. [Tekst] / Sost. E. YU. SHaina. – S-Pb.: Tipografiya «NP-Print», 2015. – 120 s.
8. Cirk chinizelli. Ot sozdaniya do vozrozhdeniya. Sankt Peterburg. / Sost. E. Yu. Shaina. – Sankt-Peterburg, tipografiya «NP-Print». 2015. – 120 str., ill.
9. Bol'shaya Rossijskaya ehnciklopediya [Tekst] / Glav. red. S. O. SHmidt; Sost. M. I. Andreev, V. M. Karev. — M.: EHnciklopediya, 1997. – 976 s.
10. Kudryashev, N. Novyj staryj cirk i opyt sotrudnichestva [Tekst] / N. Kudryashev // Arhitektura i stroitel'stvo Rossii. - 1990. - №4. - S. 20-25.

E. Sysoeva

Moscow state university of architecture and civil engineering, Moscow

Candidate of Tech. Sciences, associated professor of the design of buildings and structures department

E-mail: sev4279@yandex.ru

S. Trushin

Moscow state university of architecture and civil engineering, Moscow

Candidate of Tech. Sciences, associated professor of the structural and theoretical mechanics department

E-mail: trushin2006@yandex.ru

ХОМЯКОВ А.И.

ПОВЕСТВОВАНИЕ В ПРОСТРАНСТВЕ: ЭВОЛЮЦИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МЕМОРИАЛЬНО-МУЗЕЙНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В статье рассматриваются история возникновения и этапы развития в России уникального типа архитектурного сооружения – мемориально-музейного комплекса. Это сложный объект, как правило, объединяет мемориалы, памятники, музеи и парки в целостные ансамбли. Мемориальная архитектура – один из важнейших базисов духовной самоидентификации любого общества и типа государственной системы. Её главной целевой задачей является укрепление самосознания того или иного этноса или их союза средствами архитектурно-пространственного и художественного воздействия, в которых главные – образ и символ.

Несмотря на некоторые черты сходства с зарубежными аналогами, отечественная практика создания мемориально-музейных комплексов имеет ряд своеобразных особенностей и отличий, которые ранее комплексно в профессиональной прессе не изучались. Автор выделяет в этом историческом процессе четыре периода, которые рассматриваются в двух частях статьи. Анализируются их истоки, факторы влияния, рассматриваются главные представители.

Ключевые слова: памятники культуры и истории, памятные и мемориальные ландшафты, мотивация и условия создания мемориальных пространств, архитектура, ландшафт, художественные практики.

Периоды становления и поиска (часть 1)

Особое, трепетное, небезразличное и в то же время изменчивое отношение к мемориальной архитектуре всегда отличало Россию от остального мира. Тому существовало много причин, это и традиционная ориентация на духовные и православные ценности, следование традиционному жизненному укладу. В то же время исторические и политические трансформации часто не лучшим образом сказывались на характере и менталитете русского народа [1]. И конечно, немалую роль в формировании особого отношения к памяти внесли мировые войны, сотрясавшие наше отечество на протяжении последних веков.

Сегодня интерес к созданию памятников и мемориалов меняется. Происходит это, как представляется автору, в связи с изменениями смысловой парадигмы мемориального пространства и отношения к нему российского социума. Поэтому интересно проследить эволюцию этого феномена в отечественных условиях. Этот процесс, несмотря на свою краткую полутора вековую историю предъявляет свои художественно-образные особенности. Он значительно отличается от зарубежных аналогов и требует отдельного осмысления вопросов, связанных с мотивацией и периодизацией своего формообразования.

Тип мемориально-музейного комплекса (благоустроенная территория исторического события, монументы и памятники, музей, инфраструктура) сложился в России, как и в Европе, сразу после окончания наполеоновских войн. В начале XIX века, после уточнения и законодательного закрепления новых европейских границ народности складываются в более определённые языковые и территориальные общности людей. С развитием и укреплением экономических и культурных связей они превращаются в гражданские нации. В этих условиях происходит осознание драматических итогов - великих человеческих жертв наполеоновских войн. Впервые, ввиду знаменательных инвестиций, требуемых на достойную мемориализацию событий завершившейся войны, церковь не смогла взять под свою финансовую опеку создание памятников и памятных ансамблей. Передовые представители нового гражданского общества (народа) выступили с инициативами сбора народных средств на создание памятников «народам-победителям, нациям, армиям, их героям и предводителям, в том числе погибшим, павшим, умершим от ран» [2].

Россия более масштабнее, чем союзники, отметила победу над Бонапартом. В отличие от Европы, где наполеоновским войнам было посвящено лишь несколько значительных мемориальных ансамблей («Холм Льва» – под Ватерлоо, «Мемориал Битве народов» – под Лейпци-

гом, «Мавзолей Мира» под Аустерлицем), в России возникло множество грандиозных, больших и малых памятных сооружений. Среди них самые значительные – это Триумфальные ворота, Храм Христа Спасителя, Манеж Александровского парка в Москве, Александрийский столп в Петербурге, памятник защитникам в Смоленске, мемориально-музейный ансамбль под Бородино и ряд других менее заметных и известных монументов и памятников.

Необходимо уточнить различие в мотивах, побудителях и инициаторов европейских и русских мемориалов этого поколения. В Европе импульсом их возведения были призывы гражданских обществ и различных культурных и общественных фондов. В России же это были инициативы сверху, от императора или его окружения.

Исключение представлял лишь «Памятник Бородинское поле – музей войны 1812 года» под Можайском, как он первоначально назывался. Именно он стал полноценным мемориальным ансамблем в России, во многом сложившимся стихийно. Сначала усилиями нескольких офицерских вдов, затем при участии и поддержке церкви, здесь появлялись отдельные обелиски павшим героям, позже – храмовые строения. К столетию битвы это уже был в целом сформировавшийся ансамбль.

В процессе постепенного создания этого мемориального образования и сложились главные типологические черты, состав основных компонентов «мемориально-музейного комплекса (ММК)» как особого вида общественного сооружения.

Первым и обязательным признаком мемориально-музейного комплекса является его размещение в достоверном пространстве или подлинной территории прошедшего знаменательного исторического события. 26 августа 1812 года (по старому стилю) здесь, близ деревни Бородино, произошло сражение между русской и французской армиями – грандиозной «битвы гигантов» армии Кутузова и армии Наполеона. Вторым признаком стало возникновение в разное время многочисленных памятных знаков, стел, монументов, маркирующих наиболее знаменательные моменты битвы (всего более 50). В-третьих – это организация инфраструктуры паломничества (некрополь павших, православный храм, музей, путевой императорский дворец).

Мемориал «Бородинское поле» создавался на протяжении десятилетий, начиная с 20-х годов 19 века и был завершён к столетнему юбилею войны 1812 года. К 1912 году на его территории было установлено 32 памятника. Начиная с 50-х годов к ним были добавлены памятники павшим здесь же в боях Великой отечественной войны 1941-45 гг.

Бородинский мемориальный комплекс отличается от немногочисленных европейских аналогов простыми, лишёнными искусственных парко-строительных приёмов, ландшафтными средствами раскрытия памятной темы. Главный из них – сохранение подлинной, реальной топографии местности. Поскольку само пространство (общей площадью 110 кв.км.) битвы простирается на несколько километров во всех направлениях, территория сложившегося мемориала воспринимается как открытый лугопарк в обрамлении естественного природного пейзажа.

Пейзажный пасторальный характер этого пространства принципиально отличает его от канонического регулярного паркового ансамбля начала XIX-ого века с осевыми аллеями и симметричными партерами. Также демократичен (не ограничен) арсенал строительных материалов. Памятники и монументы выполнены из мрамора, гранита, белого камня, чугуна, бронзы. Естественно сложившаяся концепция мемориала предполагала отмечать особо знаменательные места сражения Бородинского сражения локальными независимыми и самоценными знаками, что, в свою очередь предопределило сознательный отказ от стилевого единства мемориального пространства.

Концепция многообразия памятных знаков, их художественного языка допускает существование скульптур (памятник Барклаю-де-Толли и др.) и архитектурных монументов (1 и 19 кирасирским полкам, 7-й пехотной дивизии генерала П.М.Капцевича). Обелиски, стелы, часовни располагаются вдоль когда-то реальной, а ныне не читаемой линии обороны. Они выстраиваются в ряд, состоящий из отдельных объектов притяжения, которые возникают последовательно, один за другим, по мере движения не вступая друг с другом в прямой визуальный контакт.

Архитектурно-художественный язык отдельных памятников «Бородино» в целом мало отличается от европейских аналогов того времени. Это в основном выполненные в стиле «ампир» реалистические, изобилующие деталями сооружения из чугуна и тёсаного камня: ядра, пушки, ограждающие цепи, армейская арматура, изображения орлов и коней. В изобилии представлены портреты, скульптуры и барельефы ведущих полководцев и их свиты. Один из самых значительных монументов мемориала, воздвигнутый на батарее Раевского, выполнен (1839г. Арх. А.Адамини) уже в национальных мотивах, в виде стилизованной православной колокольни-часовни (рис.1).

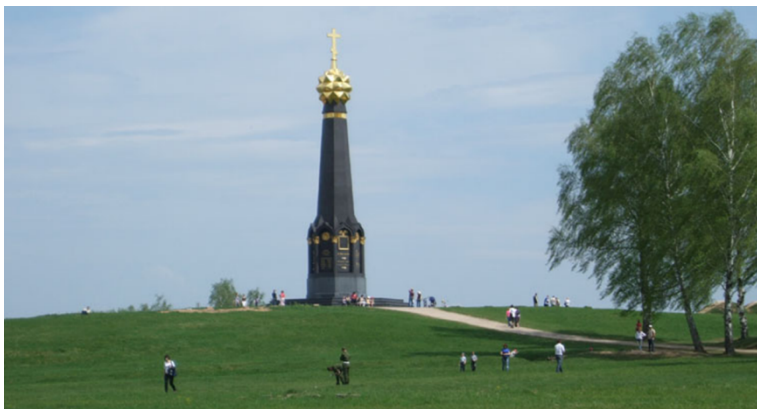


Рисунок 1 – Мемориал «Бородинское поле» под Можайском. 1912 г.



Рисунок 2 – Мемориал Малоярославецкому сражению. 1912 г.

Появление этой стилизованной часовни-колокольни особенно интересно и показательно. «В 1835 году Николай I повелел установить 16 типовых чугунных монументов в местах важнейших сражений. Памятники были разбиты на три класса; памятник 1-го класса должен был быть установлен на Бородинском поле — на батарее Раевского; памятники 2-го класса планировалось установить в Тарутине, Малоярославце, Красном, Студенке, Клястицах, Смоленске, Полоцке, Чашниках, Кулаково и Ковно, памятники 3-го класса — в Салтановке, Витебске, Кобрине, Вязьме; место установки одного памятника осталось неизвестным. Одновременно утверждался проект. Из нескольких вариантов всеобщее одобрение получил проект знаменитого итальянского архитектора Антонио Адамини. Главой комиссии по возведению памятников был назначен министр финансов граф Е.Ф. Канкрин. Установлено было только семь памятников: на Бородинском поле, в Смоленске, Красном, Ковно, Полоцке, Клястицах и Малоярославце» [3] (рис.2).

В сравнении с теми же европейскими мемориалами, которые выглядят более организованными, компактными и целостными, комплекс Бородино воспринимается, скорее мемориальной и памятной территорией, без артикулированной входной зоны и других функциональных компонентов, присущих любому произведению садово-паркового искусства.

Осмотр легендарного Бородинского поля таким образом можно начинать с любого её края. Но, именно такое непосредственное непредвзятое экспонирование, честное перечисление памятников, лишённое какой-либо надуманности, особой режиссуры и стремления к пафосности, придаёт Бородинскому полю неповторимость и индивидуальность, гармоничность и искренность, что выгодно отличает его от других воинских мемориалов.

Второй важной вехой в создании отечественных мемориальных ансамблей можно считать завершение к 1905 году комплекса памятников, посвящённых пятидесятилетию Первой обороне Севастополя 1854-55 года. «Градоначальник Севастополя П.А.Перелешин обратился в Министерство внутренних дел с просьбой открыть подписку для сбора денежных средств, чтобы устроить в Севастополе Исторический бульвар по всей исторической линии обороны города. 28 ноября 1875 года Александр II разрешил провести подписку по всем губерниям России. В феврале следующего года опубликовали обращение к гражданам России, где говорилось, что события обороны 1854-1855 годов «не умирают в памяти народов; они должны быть переданы потомству во всём их простом величии» [4]. Главным куратором строительства

являлся Великий князь Александр Михайлович Романов, председатель Комитета по восстановлению памятников Севастопольской обороны. Именно под его эгидой, его энергичным организаторским управлением, была завершена эта великая стройка.

Почти совпадая по времени своего создания с бородинским, севастопольские памятники были также схожи концептуальными принципам и пространственной организацией. Главное, что объединяет оба комплекса – это пространственная протяжённость, мемориализация практически всей подлинной линии обороны, проходящей на этот раз через город. Схожи и используемые архитектурно-художественные средства – это становящийся популярным неомпир, содержащий скупые скульптурные включения, детали и рельефы, фрагменты военной арматуры.

Вторая половина XIX века была отмечена созданием и других отечественных мемориальных ансамблей: в Смоленске и Малоярославце (Отечественной войне 1812 года), в Болгарии (балканской русско-турецкой войне 1877-78 гг.). Все они подробно рассмотрены в монографии Е.И.Кириченко, где справедливо указывается, что все без исключения мемориалы того периода – военные. Скрупулёзно рассмотрены и описана генетика отечественного мемориального ансамбля, возникшего «в ходе трансформации и слияния в качественно новое целое» трёх типов памятников, ранее существовавших самостоятельно: персональных памятников и монументов личностям, некрополей и постепенно появляющихся национальных мемориалов.

Важно вспомнить, что к этому времени практика российского монументального искусства «оставалась декоративной и декларативной; кроме того, она была локализована в пределах усадеб – оставалась царской и барской забавой. Памятники в России и в начале XIX века появлялись редко, практика их возведения не была распространённой» [5]. Исключения – памятник Петру на Дворцовой площади в Петербурге (1782) Э.Фальконе, памятник ему же перед Инженерным замком (1801) Б.Растрелли, памятник Минину и Пожарскому в Москве на Красной площади (1818) И.Мартос.

Но именно с этих двух феноменов начала 20-ого века - Бородинского поля и Севастополя – «города-мемориала», по существу, начинается летопись создания отечественных мемориально-музейных комплексов. Этот процесс проходил хотя и последовательно, в целом соответствуя фазам развития европейских аналогов, но в силу особенностей российской истории XX века, не непрерывно, а дискретно.

В то время, когда европейские страны в первые десятилетия после Первой мировой войны возводили в память о её событиях большие и малые памятники (французские мемориалы Вими и Верден, германский Танненберг), в России по известным причинам этого не происходило. Кампания «гlorификации» отечественных героев войны (истинных и мифологических) была свёрнута. Преподобней России уже не существовало, а в новой – Великая война не считалась таковой, и мемориалов не удостоилась. Царская администрация успела лишь создать в 1915 году Московское Братское кладбище героев Первой мировой войны, которое и задумывалось учредителями (Великой княгиней Елизаветой Фёдоровной и Московской городской управой) как будущий мемориал. На его территории успели появиться немногочисленные мемориальные памятники и сооружения временного характера, планировалось также строительство музея войны. Октябрьская революция остановила этот проект.

Этот невосполнимый пробел в создании мемориалов в дальнейшем окажет значительное влияние на эволюцию художественного языка и формирование отечественной школы монументального искусства, стремящейся противопоставить себя «буржуазной капиталистической» традиции. Идеологами пролетарской культуры отрицался буржуазно-капиталистический «способ жизни, восхваление самих основ этого строя, который порождал лишь слащаво-фальшивые, лишенные действительной жизненной и художественной правдивости произведения» [6].

После завершения гражданской войны советское правительство занялось укреплением власти, борьбой с оппозицией и производственно-хозяйственными вопросами. Одним из главных направлений деятельности являлось создание культуры и искусства, соответствующих пролетарской идеологии. Памятники победившей революции, победам в гражданской войне, героям мировой революции и создавались преимущественно поспешно из временных матери-

алов, не качественно, как конструктивно, так и творчески поверхностно. Рассчитывались, как правило, на краткосрочный эффект. По словам Луначарского Ленин так кратко сформулировал цели и задачи отечественного монументального искусства: «О вечности или хотя бы долготии я пока не думаю. Пусть это всё будет временно»[7].

В подавляющем большинстве они не сохранились до настоящего времени. Из дошедших до настоящего времени наиболее значительных монументальных произведений того периода можно назвать Марсово поле в Петрограде. Грандиозная реконструкция исторического «Потешного луга» (позднее «Царского луга») в мемориальный некрополь жертвам Февральской революции была выполнена в 1918 году по проекту И.А.Фомина и Л.В.Руднева (рис.3). В центральных российских городах сохранились лишь отдельные монументы революционным событиям и выдающимся личностям (Тимирязеву в Москве, 1929г., Героям и жертвам революции 1905 года в Н.-Новгороде, 1930г. и некоторые др.).



Рисунок 3 – Мемориал «Героям-борцам за свободу России» на Марсовом поле. С-Петербург. 1919

Если триумфальное рождение новой русской архитектуры ознаменовано появлением павильона СССР на Международной выставке декоративных искусств в Париже (1925 г.) [8], то рождением советского монументального искусства по праву можно считать «Рабочего и колхозницу» В.Мухиной и Б.Иофана (павильон СССР 1937 г. Всемирная выставка в Париже). Значимых же мемориально-музейных комплексов в этот период в стране не возводилось.

Вероятными причинами этого могли быть и нежелание властных структур напоминать о любом политическом конфликте, инициировать депрессионные настроения общества, экономические и финансовые проблемы, а также сомнения политического характера. А главное, как представляется автору, в другом. Известный европейский культуролог Ассман справедливо пишет: «память является связующей структурой общества» [9]. Стояла ли такая задача перед пролетарским российским правительством в то время – скрепить «воедино» общество? Общество ему представлялось ещё не совершенным, и не сформированным...

Одновременно с ориентацией на «кратковременное» (одноразовое?) монументальное искусство, разрушались дореволюционные памятники и монументы, что являлось едва ли не главной составной частью ленинского плана «монументальной пропаганды». В декрете СНК РСФСР от 12.12.1918 г. «О памятниках республики» постановлялось: «Памятники, воздвигнутые в честь царей и их слуг и не представляющие интереса ни с исторической, ни с художественной стороны, подлежат снятию с площадей и улиц и частью перенесению в склады, частью использованию утилитарного характера» [10]. Среди них разрушались такие значительные сооружения как Храм Христа-Спасителя в Москве, мемориал Александру II в Кремле,

многие другие. Чудом избежал разборки Храм Спаса-на-Крови в Ленинграде, православный мемориальный храм, сооружённый в память о покушении на Александра II.

Из семи выше упомянутых установленных по повелению Николая I чугунных памятников в память важнейшим сражениям Отечественной войны 1812 года архитектора А.Адамини, в первоначальном виде сохранился только один смоленский памятник. Остальные, кроме памятника в Ковно, были взорваны в Советское время в начале 1930-х годов и отправлены на переплавку, как не представляющие художественной ценности. Памятник в Ковно (Каунасе) был демонтирован в 1915 году, во время Первой мировой войны, и вывезен в Германию, где также был переплавлен.

Новые декларируемые смыслы в соответствии с планами монументальной пропаганды, транслировались через «декорирование города», праздничное оформление площадей и улиц в дни юбилеев и государственных памятных дат. «Возбуждению гражданских чувств», воспитанию новых поколений, и главное, политической агитации, служили также бесчисленные ленинские комнаты, организованные во всех без исключения государственных учреждениях. «Общий театрализованный и карнавальный дух постреволюционной культуры с её агитационными шествиями и празднествами, изобилующими карикатурными образами разного рода врагов народа» [11] в своей совокупности подменили государственные мемориальные пространства (рис. 4).

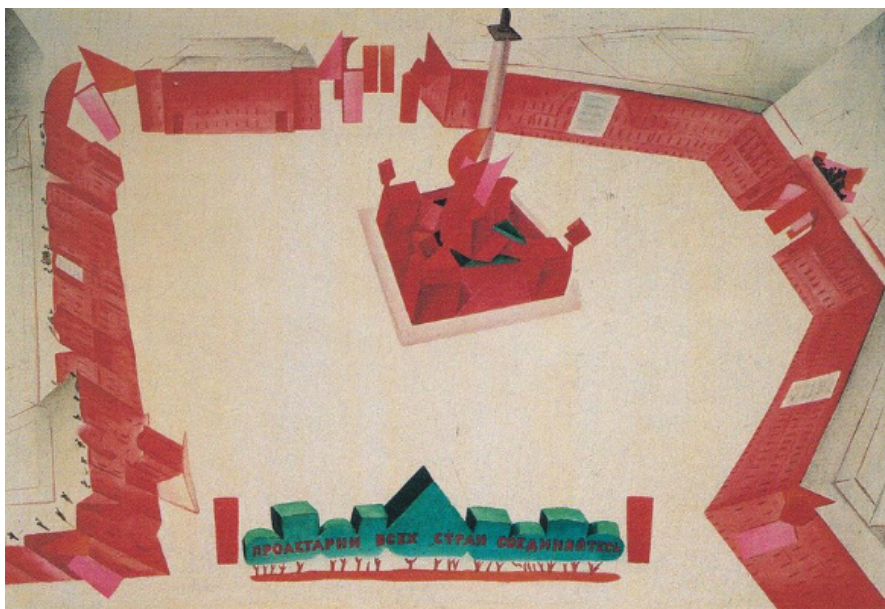


Рисунок 3 – Эскиз праздничного оформления пл. Урицкого в Петрограде, Н.Альтман, 1918 г.

Все перечисленные усилия в целом решали проблему не всегда востребованного наполнения мемориально-памятными смыслами городского пространства новой России вплоть до начала Великой отечественной войны.

Таким образом, рассмотрены два противоречивых по сути, и по-разному продуктивных начальных периода развития мемориально-музейной отечественной архитектуры.

Первый условно назван периодом «становления» (середина XIX века – 1920-е гг.). Он представлен немногочисленными комплексами. Этот мемориал, как и в Европе – выражение (знак) рождения и единства нации. В тоже время отечественный мемориал демонстрирует в сравнении с европейскими аналогами свою индивидуальность – это свободная планировка и архитектурное стилистическое многообразие.

Второй – можно охарактеризовать как период «поиска нового языка», время накопления новых средств и формирования целей. Здесь результат выражен не столько конкретным проявлением в пространстве и форме, сколько заменой его различными практиками ритуального и оформительского характера.

В итоге, стилистические мотивы периода «становления» отечественного ММК (неоампир, национальная и другие формы архитектурной эклектики) слившись с набирающим популярность в Европе архитектурным неорархаизмом [12], синтезировались с практиками сценографической бутафории программы «монументальной пропаганды». В значительной мере, по мнению автора, это явилось базисом появления советской разновидности монументализма 30-х годов, позднее трансформировавшегося в «сталинский ампир» [13] (или стиль «победа» [14]), алгоритм третьего периода отечественной мемориально-музейной архитектуры, о котором речь пойдет в следующей публикации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисова И. Загадочная русская душа (национальный характер русских и особенности общения) [Текст] / И. Денисова // Справочник секретаря и офис-менеджера: производственный журнал, - 2014, №4. <http://www.marketologi.ru/publikatsii/>.
2. Кириченко Е.И. Запечатленная история России. Монументы XVIII – начала XX века. Книга 2. Архитектурные ансамбли и скульптурный памятник [Текст] / Кириченко Елена Ивановна. – М.: «Жираф», 2001. - С. 197-198.
3. Памятник_защитникам_Смоленска1812_года / Википедия // https://ru.wikipedia.org/wiki/Памятник_защитникам_Смоленска_1812_года
4. Шавшин В.Г. Каменная летопись Севастополя [Текст] / В.Г.Шавшин. Севастополь – Киев: ДС Стрим. - 2003. - С.67.
5. Еремеева С. Памяти памятников. Практика монументальной коммеморации в России XIX – начала XX в. [Текст] / С.А.Еремеева. – М.: РГТУ, 2015. - С.26.
6. Колпинский Ю. Искусство 19 века. Введение. Всеобщая история искусств. Т.5 [Текст] / Колпинский Ю.Д., Яворская Н.В. и др. (ред.) - М.: Искусство, 1964.
7. Луначарский А.В. Ленин. Очерки [Текст] / А.В.Луначарский. – Л.: Госиздат, 1924. – С.26.
8. Гурари М.Н. Творческое наследие русского авангарда: традиции архитектурные и духовные [Текст] / Современная архитектура мира. Научный сборник НИИТИАГ. Выпуск 6. - М.: Нестор-История Санкт-Петербург, 2016. - С.151.
9. Ассман Я. Культурная память. Письмо, память о прошлом и политическая идентичность в высоких культурах древности. Пер. с нем. М.М.Сокольской [Текст] / Я. Ассман. - М.: Языки славянской культуры, 2004. - С. 95.
10. Декрет СНК РСФСР 12.12.1918 (пункт1) [Текст] - М.: Политиздат, 1968. - С.-198.
11. Раппопорт А.Г. Сиротство авангарда [Текст] - Екатеринбург: Татлин, 2016. - С.365.
12. Бархин А. Ребристый стиль высотных зданий и неорархаизм в архитектуре 1920-1930-х [Текст] / А.Бархин. // Academia. Архитектура и строительство. – 2016. - №3. - С. 56-64.
13. Хан-Магомедов С.О. «Сталинский ампир». Проблемы, течения, мастера. / Архитектура сталинской эпохи. Опыт исторического осмысления. Сборник статей [Текст] / С.О.Хан-Магомедов. - М.: РААСН, НИИТИАГ, URSS, 2010. - С.10-15.
14. Астраханцева Т.Л. Стиль «Победа» в декоративно-орнаментальном искусстве 1940-1950-х годов: к проблеме дефиниций в советской сталинской эпохе/ Архитектура сталинской эпохи. Опыт исторического осмысления. Сборник статей [Текст] / Т.Л.Астраханцева. - М.: РААСН, НИИТИАГ, URSS, 2010. - С.142 – 150.

Хомяков Александр Иванович

Московский архитектурный институт (государственная академия), г. Москва

Кандидат архитектуры, профессор кафедры «Архитектура общественных зданий».

E-mail: a.khomyakov@mail.ru

A.KHOMYAKOV

NARRATION IN SPACE: THE EVOLUTION OF NATIVE MEMORIAL AND MUSEUM COMPLEX

The article discusses the history and stages of development in Russia of a unique type of architectural structure – Memorial-Museum complex. This is a complex object, that usually integrates the memorials, monuments, museums and parks into coherent ensembles. Memorial architecture is one of the most important basis of the spiritual identity of every society and type of governmental system. Its main target is to strengthen the identity of a particular ethnic group or their Union by means of architectural, spatial and artistic influence, in which the main are image and symbol.

Despite some similarities with foreign counterparts, the domestic practice of creation of the Memorial and Museum complex has several unique features and differences, which has not been studied before comprehensively in the professional press. The author highlights in this historical process four periods, which are discussed in two parts of the article. Their origins and impact factors are analyzed and the main representatives are considered.

Key words: *monuments of culture and history, commemorative and memorial landscapes, motivation and conditions for the creation of memorial spaces, architecture, landscape, artistic practice.*

BIBLIOGRAPHY

1. Denisova I. Zagadochnay russkay dusha (nazionalnuy harakter russkih I osobennosti obschenia) [Tekst] / I.Denisova // Spravochnik sekretaria I ofis-menedzera: proizvodstvennyy zurnal, -2014. №4.<http://www.marketologi.ru/publikatsii/>.
2. Kirichenko E.I. Zapechatlennay istoria Rossii. Monumentuy XVIII – nachala XX veka. Kniga 2. Arhitekturnye ansambli I skulpturnui pamiatnik [Tekst] / Kirichenko Elena Ivanovna. – M.: «Ziraf», 2001. - S. 197-198.
3. Pamiatnik_zasczhitnikam_Smolenska_1812_goda / Wikipedia// <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
4. Shavshin V.G. Kamennaya letopis Sevastopolia [Tekst] / V.G.Shavshin. Sevastopol – Kiev: DS Strim - 2003. - S.67.
5. Eremeeva S. Pamiati pamiatnikov. Praktika monumentalnoi kemmemorazii v Rossii XIX – XX v. [Tekst] / S.A.Eremeeva. – M.: RGTU, 2015. - S.26.
6. Kolpinskiy Y. Iskusstvo XIX veka. Vvedenie. Vseobschaia istoria iskusstv. T 5. [Tekst] / Y.D.Koipinskiy, N.V.Yavorskaya I dr. (red.) - M.: Iskusstvo, 1964. - S. 240/
7. Lunacharskiy A.V. Lenin. Ocherki. [Tekst] / A.V. Lunacharskiy. – L.: Gosizdat, 1924. – S.26.
8. Gurari M.N. Tvorcheskoe nasledie russkogo avangarda: tradizii arhitekturnuie I duhovnuie. [Tekst] / Sovremennaya arhitektura mira. Nauchniy sbornik NIITIAG. Vuipusk 6. - M.: Nestor – Istoria Sankt-Peterburg, 2016. - S.151.
9. Assman Y. Kulturnaya pamiat. Pismo, pamiat o proshlom I politicheskai identichnost v vuisokich kulturah drevnosti. Per. s nem. M.M.Sorolskoi [Tekst] / Y. Assman. - M.: Yazuiki slavianskoy kulturui, 2004. - S. 95.
10. Dekret SNK RSFSR.12.1918 (punkt 1) [Tekst] - M.: Politizdat, 1968. - S.-198.
11. Rappoport A.G. Sirotstvo avangarda [Tekst] - Ekaterinburg: Tarlin, 2016. - S.365.
12. Barchin A. Rebristuiy stil vuisotnuih zdaniy I neoarchizm v arhitekture 1920-1930-h. [Tekst] / A.Barhin. // Academia. Arhitektura I stroitelstvo. – 2016. - №3. - S. 56-64.
13. Han-Magomedov S.O. «Stalinskiy ampir ». Problemui, techenia, mastera. / Arhitektura stalinskoy epohi. Opuit istoricheskogo osmuislenia. Sbornik statey. [Tekst] / S.O.Han-Magomedov. - M.: RAASN, NIITIAG, URSS, 2010. - S.10-15.
14. Astrahanzeva T.L. Stil «Pobeda» v dekorativno-ornamentalnom iskusstve 1940-1950-h godov: k problem definiziy v sovetskoy stalinskoy epohe / Arhitektura stalinskoy epohi. Opuit istoricheskogo osmuislenia. Sbornik statey. [Tekst] / S.O.Han-Magomedov. - M.: RAASN, NIITIAG, URSS, 2010. - S.142-150.

A. Khomyakov

Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow

Candidate of architecture, professor of "Architecture of public buildings"

E-mail: a.khomyakov@mail.ru

УДК: 693.157

ЩЕПОЧКИНА Ю.А.

О ПРИМЕНЕНИИ ПУСТОТЕЛОГО КИРПИЧА ПРИ РЕСТАВРАЦИИ ИСТОРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрено состояние оборонного сооружения (бастиона), являющегося выдающимся произведением средневекового зодчества, и примыкающей к нему стены, для реставрации которых был применен пустотелый керамический кирпич. Необходимо отметить высокое качество проведения самих реставрационных работ, однако вызывает серьезную обеспокоенность за будущее этого сооружения выбор применяемых для реставрации материалов, в частности кирпича. При наблюдении за реставрируемыми участками стены отмечено частичное и все более увеличивающееся повреждение новой кладки с многочисленными отколами внешней стенки пустотелого кирпича.

Очевидно, что применение пустотелого кирпича для проведения реставрационных работ стены на этом историческом объекте, было недопустимым. Для некоторого исправления сложившейся ситуации перспективна, на наш взгляд, обработка кирпичной кладки гидрофобными веществами. Безусловно, эти мероприятия требуют дополнительных материальных затрат, но могут несколько замедлить процесс разрушения.

Ключевые слова: оборонное сооружение, реставрация, кирпичная кладка.

Большинство сохранившихся на протяжении веков зданий и сооружений выполнены с применением природного камня и керамического кирпича. Для возведения этих объектов применялся полнотелый кирпич разнообразной формы и размеров. С течением времени исторические сооружения требуют проведения реставрационных работ. Для реставрации этих объектов применяются, по возможности, такие же материалы, что были использованы для их постройки. Однако в ряде случаев это важнейшее условие нарушается, например, отмечают при проведении реставрационных работ тенденции замены полнотелого керамического кирпича пустотелым кирпичом.



Рисунок 1 – Бастион и стена, общий вид

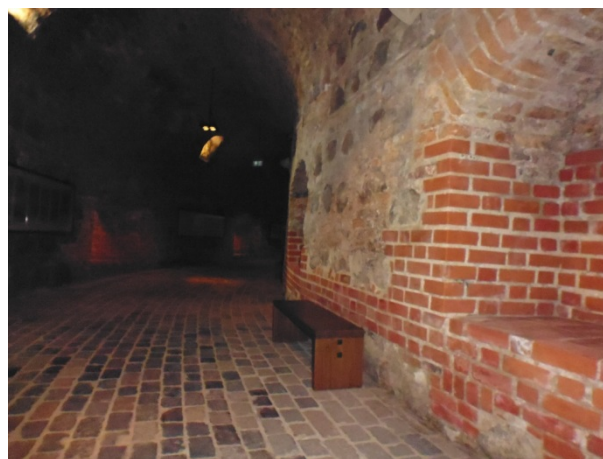


Рисунок 2 – Туннель бастиона

Рассмотрим случай применения пустотелого кирпича при проведении работ на примере реставрации оборонного бастиона и примыкающей к нему стены в г. Вильнюс (Литва). Оборонный бастион и стена (рис.1) были сооружены из природного камня и полнотелого керамического кирпича в XV-XVI вв. Бастион представляет собой каменно-земляное фортификационное сооружение. **№2 (70) 2017 (март-апрель)**

кационное сооружение, включающее прямоугольную башню, подковную часть и соединяющий их 48 метровый туннель (рис.2).

С точки зрения оборонной архитектуры укрепленная часть сооружения является выдающимся произведением средневекового зодчества, отражающего существовавший на тот период уровень развития строительной науки и техники.

В XVII в. бастиону, несмотря на значительную толщину его стен – 3,5 м, были нанесены значительные повреждения, а свои оборонные функции он окончательно утратил в первой половине XVIII в.

Кирпич в сооружении применен полнотелый с плотным черепком красно-коричневой окраски, он имеет небольшие камневидные посторонние включения, мелкие открытые поры вытянутой формы размером до 2 мм. Кладочный раствор светло-серой окраски включает крупные зерна кварца (кварцевый песок) и известь (при взаимодействии с соляной кислотой интенсивно выделяет газообразные продукты).

С течением времени сооружение постепенно разрушалось. В конце XX - начале XXI вв возникла необходимость проведения реставрационных работ этого памятника архитектуры. К настоящему времени бастион и примыкающая к нему стена частично отреставрированы. Необходимо отметить высокое качество проведения самих реставрационных работ, однако вызывает серьезную обеспокоенность за будущее этого сооружения выбор применяемых для реставрации материалов, в частности кирпича. При наблюдении за реставрированными участками стены в течение последних трех лет отмечено частичное и все более увеличивающееся повреждение (рис.3) новой кладки.



Рисунок 3 – Фрагменты реставрированной стены

Новая кирпичная кладка представляет собой ничто иное, как конструкцию из пустотелого кирпича, уложенного на строительном (кладочном) цементном растворе. Как известно, долговечность строительных конструкций во многом определяется качеством материала и кладки, маркой раствора, толщиной швов, расположением кирпича в кладке [1-6]. Отметим, что кладка из пустотелого кирпича может сохраняться на протяжении многих лет, но если в пустоты попадает вода, разрушение даже при небольших заморозках неотвратимо [7, 8]. Существует, например, мнение [9], что пустотелый кирпич нельзя делать с внешней стенкой менее 3 см, поскольку при заморозках на таком кирпиче появляются отколы. Как показывают наши наблюдения, это мнение справедливо. Новая кладка в рассматриваемом сооружении выполнена с применением пустотелого керамического кирпича с тонкой внешней стенкой, именно она и откалывается (рис.3). Заметим, что применение пустотелого кирпича для реставрации внутренних стен туннеля бастиона (рис.2), не подвергающихся систематическому увлажнению и действию низких температур, не привело к разрушениям. Возможно даже, что применение пустотелого кирпича в туннеле будет способствовать незначительному энерго-

сбережению. В некоторых случаях, применение пустотелого кирпича экономически оправдано [10, 11]. В данной работе приведем небольшой расчет, касающийся применения полнотелого и пустотелого кирпича.

Определим тепловое сопротивление (R) стены толщиной (S) 1 м, состоящей из кирпичной кладки. Среднее значения теплопроводности (λ) кладки из полнотелого кирпича составляет 0,51 Вт/(м °С), а из пустотелого 0,41 Вт/(м °С) [9].

$$R_{\text{полн.}} = S : \lambda = 1 : 0,51 = 1,96 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$$

$$R_{\text{пуст.}} = 2,44 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$$

Разница теплового сопротивления стен из полнотелого и пустотелого кирпича составит 19,67 %.

Отметим, что проблема энергосбережения, решаемая в строительстве современных зданий из пустотелого кирпича, для стены оборонного бастиона не актуальна, а систематическое ее увлажнение, нагрев и охлаждение неизбежны. Очевидно, что применение пустотелого кирпича для проведения реставрационных работ стены на этом историческом объекте, было недопустимым.

Для некоторого исправления сложившейся ситуации перспективна, на наш взгляд, обработка кирпичной кладки гидрофобными веществами. Безусловно, эти мероприятия требуют дополнительных материальных затрат, но могут несколько замедлить процесс разрушения.

На данном примере нами показано, что исторические объекты, характеризующие разнообразные архитектурные направления, стиль и формы, требуют перед проведением реставрации всестороннего изучения факторов, влияющих на их сохранность, применения строительных материалов, обеспечивающих долговечность за гранями текущего и будущего столетий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филимонов П.И. Справочник молодого каменщика. – М.: Высш. шк., 1990. – 240 с.
2. Семенов В.С., Розовская Т.А. Оценка качества стеновых керамических материалов по российским и европейским стандартам // Строительные материалы. – 2013. – № 4. – С. 6-9.
3. Щепочкина Ю.А. Керамический кирпич: ангобирование и глазурирование. – Мн.: Национальная библиотека Беларуси, 2016. – 90 с.
4. Инновационная технология получения стеновых строительных материалов / В.С. Бессмертный, О.Н. Соколова, Р.А. Платова, Р.А. Гильмутдинова. – Белгород: Изд-во БУКЭП, 2011. – 128 с.
5. Крупа А.А., Городов В.С. Химическая технология керамических материалов. – К.: Вища. шк., 1990. – 399 с.
6. Яценко Н.Д., Зубехин А.П. Научные основы инновационных технологий керамического кирпича и управление его свойствами в зависимости от химико-минералогического состава сырья // Строительные материалы. – 2014. – № 4. – С. 28-31.
7. Мачюлайтис Р. Морозостойкость и долговечность изделий фасадной керамики. – Вильнюс: Техника, 1997. – 308 с.
8. Mačiulaitis R., Malaiškiene J. Statybines keramikos charakteristikų ir technologinių parametų reguliavimo galimybės. – Vilnius: Technika, 2012. – 184 s.
9. Шлегель И.Ф. Эффективен ли пустотелый кирпич? // Строительные материалы. – 2006. – № 7. – С. 41-43.
10. Murat R. Pustaki ceramiczne – prawdy i mity // Murator. – 2014. – Nr. 5. – S. 112-120.
11. Podwysocka Z. Pustaki na żebrach // Murator – 2015. – Nr 2. – S. 68-70.

Щепочкина Юлия Алексеевна

Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново

Доктор технических наук, профессор. Кафедра «Строительное материаловедение, специальные технологии и технологические комплексы»

E-mail: julia2004ivanovo@yandex.ru.

Ju. SHCHEPOCHKINA

ABOUT THE USE OF HOLLOW BRICK DURING THE RESTORATION OF HISTORICAL OBJECTS

The state of the fortifications (Bastion), which is an outstanding piece of medieval architecture, and the adjoining walls, for the restoration which was applied hollow ceramic brick. It should be noted the high quality of carrying out of restoration works, however, causes serious concerns for the future of this building is used for selection of the restoration materials, in particular brick. When observing re-stored sections of the wall marked by a partial and increasing damage to new brickwork with numerous spalling of the outer wall of hollow brick.

It is obvious that the use of hollow brick for the restoration of the walls of this historic building was unacceptable. For some address this situation, promising, in our opinion, treatment of the brickwork hydrophobic substances. Of course, these activities require additional material costs, but can slightly slow down the process of destruction.

Key words: *defensive construction, restoration, masonry.*

BIBLIOGRAPHY

1. Filimonov P.I. Spravochnik molodogo kamenschika. – M.: Vyshaya shkola., 1990. – 240 p.
2. Semenov V.S., Rozovskaya T.A. Otsenka kachestva stenovykh keramicheskikh materialov po rossiyskim i evropeiskim standartam // Stroitelnye materialy. – 2013. – Nr. 4. – P. 6-9.
3. Shchepochkina Ju.A. Keramicheskii kirpich: angobirovanie i glazurovanie. – Minsk: Natsionalnaya biblioteka Balarusi, 2016. – 90 p.
4. Innovatsionnaya tekhnologiya polucheniya stenovykh stroitelnykh materialov / V.S. Bessmertnyi, O.N. Sokolova, P.A. Platova, R.A. Gilmudinova. – Belgorod: Izd-vo BUKER, 2011. – 128 p.
5. Krupa A.A., Gorodov V.S. Khimicheskaya tekhnologiya keramicheskikh materialov. – Kiev.: Vyshaya shkola, 1990. – 399 p.
6. Yatsenko N.D., Zubekhin A.P. Nauchnye osnovy innovatsionnykh tekhnologiy keramicheskogo kirpicha i upravlenie ego svoistvami v zavisimosti ot khimiko-mineralogicheskogo sostava syrya // Stroitelnye materialy. – 2014. – Nr. 4. – P. 28-31.
7. Machiulaitis R. Morozostoikost i dolgovechnost izdeliy fasadnoy keramiki. – Vilnius: Tekhnika, 1997. – 308 p.
8. Mačiulaitis R., Malaiškiene J. Statybines keramikos charakteristikų ir technologinių parametų reguliavimo galimybes. – Vilnius: Technika, 2012. – 184 s.
9. Shlegel I.F. Effektivn li pustotelyi kirpich? // Stroitelnye materialy. – 2006. – Nr. 7. – P. 41-43.
10. Murat R. Pustaki ceramiczne – prawdy i mity // Murator. – 2014. – Nr. 5. – S. 112-120.
11. Podwysocka Z. Pustaki na żebrach // Murator – 2015. – Nr. 2. – S. 68-70.

Ju. Shchepochkina

Ivanovo State Polytechnical University, Ivanovo

Doctor of technical science, professor of department “Building materials technology and special technologies”

E-mail: julia2004ivanovo@yandex.ru.

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 вверху – 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

Учредитель журнала
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
(ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»)

Адрес учредителя журнала
302026, Орловская область, г. Орел, ул. Комсомольская д. 95

Контактные данные учредителя
+7 (4862) 777-318
www.oreluniver.ru
E-mail: rector@oreluniver.ru

Адрес редакции
302006, г. Орел, ул. Московская, 77.

Контактные данные редакции
+7 (4862) 73-43-49
www.build.oreluniver.ru
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

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 31.03.2017 г.
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 7,25.
Тираж 400 экз.
Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической
базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.