



Научно-технический журнал
Издается с 2003 года.
Выходит шесть раз в год.

№2 (40) 2012
(март-апрель)

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)

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:

Бондаренко В.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Гордон В.А. д.т.н., проф.
Карпенко Н.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Клюева Н.В. д.т.н., доц.
Коробко А.В. д.т.н., проф.
Король Е.А. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Меркулов С.И. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Ольков Я.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Римшин В.И. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Сергейчук О.В. д.т.н., проф.
Серпик И.Н. д.т.н., проф.
Тур В.В. д.т.н., проф.
Турков А.В. д.т.н., проф.
Федоров В.С. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Чернышов Е.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Шах Р. д.т.н., проф.

Ответственный за выпуск:

Солопов С.В. к.т.н.

Адрес редакции:

302006, Россия, г. Орел,
ул. Московская, 77
Тел.: +7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: oantc@ostu.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство:
ПИ № ФС77-47354 от 03 ноября 2011 г.

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

© ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Деркач В.Н. Деформационные характеристики каменной кладки в условиях плоского напряженного состояния.....	3
Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. К определению деформаций изгибаемых железобетонных элементов с использованием диаграмм деформирования бетона и арматуры.....	11
Меркулов С.И., Стародубцев С.В. Экспериментальные исследования стержневых железобетонных элементов составного сечения, подвергнутых изгибу с кручением..	20
Никулин А.И., Сотников Д.Ю. Расчет прочности усиленных под нагрузкой железобетонных балок с учетом старения бетона.....	25
Рытов С.А., Вишняков Ю.В., Бабаев В.Н. Закрепление кирпичных стен стальными тяжами.....	33
Смоляго Г.А., Крючков А.А., Дронова А.В., Дрокин С.В. К расчету изгибаемых элементов составного сечения из легких бетонов на пористых заполнителях.....	38
Турков А.В., Марфин К.В. Взаимосвязь максимальных прогибов и частот собственных колебаний составных квадратных изотропных пластин в зависимости от количества симметрично расположенных связей сдвига.....	44
Малинин В.Г., Малинин Г.В. Вариант структурно-аналитической мезомеханики, учитывающий волновой характер деформаций, инициируемых мартенситными превращениями.....	49

Архитектура и градостроительство

Голенков В.А., Бакаева Н.В., Шишкина И.В. Основные направления обеспечения экологической безопасности автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства на основе биосферосовместимых технологий.....	55
Коськин А.В., Архипов О.П., Иващук О.А., Пилипенко О.В., Савина О.А. Базовые принципы построения автоматизированной системы управления безопасным «умным городом» и механизмы их реализации.....	63

Строительные материалы и технологии

Азаров В.Н., Боровков Д.П. Повышение устойчивости работы системы аспирации с использованием закрутки потока.....	69
Голенков В.А., Кобелева С.А. Экологически безопасные, ресурсосберегающие технологии и материалы в жилищном строительстве.....	74
Малинина Н.А. Исследование деформационных и прочностных свойств керамики на основе нитрида кремния при сложном нагружении.....	78
Федоров В.С., Баширов Х.З., Казаков Д.В. Предложения по развитию методики расчета по деформациям составных внецентренно сжатых элементов.....	85

Журнал «Строительство и реконструкция» входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора технических наук.



Scientific and technical journal
The journal is published since 2003.
The journal is published 6 times a year.

№2 (40) 2012
(March-April)

BUILDING AND RECONSTRUCTION

The founder – federal state budgetary educational institution of the higher vocational training
«State University – Educational-Science-Production Complex»
(State University ESPC)

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., Assis-
tant Prof.

Kolesnikova T.N. Doc. Arc., Prof.

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

Editorial committee

Bondarenko V.M. Doc. Sc. Tech., Prof.

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

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

Kljueva N.V. Doc. Sc. Tech., Assistant Prof.

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

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

Merkulov C.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Olkov Y.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

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

Sergeychuk O.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

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

Tur V.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

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

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

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

Schach R. Doc. Sc. Tech., Prof.

Responsible for edition:

Solopov S.V. Candidat Sc. Tech

The edition address: 302006, Orel,

Street Moscow, 77

+7 (4862) 73-43-49

www.gu-unpk.ru

E-mail: oante@ostu.ru

Journal is registered in Russian federal service
for monitoring communications, information
technology and mass communications

The certificate of registration:

ПН № ФС77-47354 from 03.04.11 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»
86294

© State University ESPC, 2012

Contents

Theory of engineering structures.

Building units

Derkatch V.N. Deformation characteristics of masonry in the plane stress state.....	3
Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radaykin O.V. A determination of strain reinforce concrete flexural elements using stress-strain diagram of concrete and reinforcement...	11
Merkulov S.I., Starodubtsev S.V. Experimental studies on compound reinforced concrete bar elements under bending and torsion.....	20
Nikulin A.I., Sotnikov D.Y. Strength calculation of flexible reinforced concrete beams under load with the performing a consideration of the aging process in concrete.....	25
Rytov S.A., Vishnyakov Y.V., Babayev V.N. Brick wall fixation with tension bars.....	33
Smoljago G.A., Krjuchkov A.A., Dronova A.V., Drokin S.V. For calculation of bendable elements of compound sectional from light-weight concrete of porous aggregates.....	38
Turkov A.V., Marfin K.V. Relationship maximum deflection and eigenfrequencies vibrations of composite isotropic square plate depending on the number symmetrical shear ties.....	44
Malinin V.G., Malinin G.V. Variant of structurally-analytical mesomechanics, considering wave character of the deformations initiated martensitic transformations.....	49

Architecture and town-planning

Golenkov V.A., Bakaeva N.V., shishkina I.V. The basic directions of maintenance of ecological safety of the motor transportation infrastructure of municipal economy on the basis of biosphericcompatibility technologies.....	55
Koskin A.V., Arhipov O. P., Ivashchuk O.A., Pilipenko O. V., Savina O.A. Base principles of construction of the automated control system of «the clever city» and mechanisms of their realization.....	63

Construction materials and technologies

Azarov V.N., Borovkov D.P. Increasing stability work of aspiration system through swirling flow.....	69
Golenkov V.A., Kobleva S.A. The resource-saving technologies and materials in the housing constructions.....	74
Malinina N.A. Research deformation and durability properties on the basis of nitride of silicon ceramics at complex influence.....	78
Fedorov V.S., Bashirov H.Z., Kazakov D.V. Some suggestions to development of methodology concerning the strain anlysis of composed essentrically compressed elements.....	85

Journal is included into the List of the Higher Examination Board for publishing the results of theses for competition the academic degrees

УДК 693.22

ДЕРКАЧ В.Н.

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕННОЙ КЛАДКИ В УСЛОВИЯХ ПЛОСКОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Приведены методики и результаты экспериментальных исследований деформационных характеристик каменных кладок при сжатии под различными углами к горизонтальным растворным швам. Получены значения модулей сдвига, а также модулей упругости и коэффициентов поперечной деформации в направлении главных осей анизотропии каменных кладок, выполненных из разных типов кладочных элементов и кладочных растворов. По результатам исследований выявлено, что при одинаковых прочностных показателях каменная кладка из полнотелого керамического кирпича по сравнению с кладкой из дырчатого кирпича обладает более высокой деформативностью при сдвиге, следовательно, и более высокой трещиностойкостью. При оценке прочности и трещиностойкости каменной кладки в условиях плоского напряженного состояния анизотропию ее деформационных характеристик можно не учитывать.

Ключевые слова: каменная кладка, модуль упругости, коэффициент поперечной деформации, модуль сдвига, анизотропные свойства.

Введение

Наиболее часто в строительных конструкциях каменная кладка подвергается воздействию сжимающих усилий приложенных к ней с эксцентриситетом. Однако в ряде случаев возникает необходимость оценки прочности и трещиностойкости каменных конструкций в условиях плоского напряженного состояния. В таких условиях, например, работает стеновое заполнение каркасов при перекосе в плоскости стен, перегородки, опирающиеся на гибкие диски перекрытий, конструктивные элементы кладки, выполненные из материалов различной деформативности, каменная кладка при неравномерной осадке оснований фундаментов. На необходимость расчета указанных конструкций с учетом плоского напряженного состояния указывалось в ранних работах Онищика Л.И. [1], Полякова С.В. [2] и других ученых. В СССР исследования каменной кладки с учетом ее анизотропии и работы в условиях сложного напряженно-деформированного состояния проводились в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко под руководством Гениева Г.А. [3]. В настоящее время интенсивные исследования в этом направлении ведутся за рубежом [4-6].

В инженерных расчетах кладка обычно рассматривается как изотропный материал, модуль сдвига которого определяется по зависимости (1):

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}. \quad (1)$$

В нормах при расчете каменных конструкций модуль сдвига G допускается принимать равным 40% модуля упругости E , который определяется путем испытания образцов каменной кладки при сжатии перпендикулярно горизонтальным растворным швам (2).

$$G = 0,4E. \quad (2)$$

Следует отметить, что в Еврокоде 6 [7] модуль упругости E является секущим модулем, его величина равна тангенсу угла наклона секущей, проходящей через точки кривой, соответствующие ординатам $\sigma=0$ и $\sigma=0,33f$ (f – предел прочности каменной кладки при сжатии). В СНиП II-22-81 [8] модуль упругости равен тангенсу угла наклона касательной к кривой зависимости « σ - ε » в точке, соответствующей $\sigma=0$. Следовательно, европейские нормы [7] дают более низкое значение модуля сдвига G , чем отечественные нормы [8].

Расчет каменной кладки, работающей в условиях плоского напряженно-деформированного состояния, можно выполнять с использованием численных методов, рассматривая кладку как сплошной, однородный, ортотропный материал, связь между напряжениями и деформациями для которого записывается в виде (3).

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \frac{1}{1 - \nu_{xy}\nu_{yx}} \begin{bmatrix} E_x & \nu_{yx}E_x & 0 \\ \nu_{xy}E_y & E_y & 0 \\ 0 & 0 & (1 - \nu_{yx}\nu_{xy})G_{xy} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

При этом необходимо иметь значения пяти ее деформационных характеристик: модулей упругости E_x , E_y и коэффициентов Пуассона ν_{xy} , ν_{yx} в направлении главных осей анизотропии, которые совпадают с горизонтальными и вертикальными растворными швами, а также модуля сдвига G_{xy} . В полном объеме эти данные в отечественных и зарубежных нормативных документах отсутствуют, что создает определенные сложности при оценке достоверности результатов расчетов.

Методика экспериментальных исследований

С целью определения деформационных характеристик каменных кладок был выполнен комплекс экспериментальных исследований опытных образцов, изготовленных из различных видов кладочных элементов (рис. 1). Для приготовления кладочных растворов общего назначения использовалась сухая растворная смесь М100 заводского изготовления. Из данной растворной смеси путем изменения пропорций составляющих готовилась растворная смесь с другими прочностными показателями. Прочность при сжатии раствора устанавливалась в соответствие с требованиями EN 1015-11 [9]. Опытные образцы кладки выполнялись на растворах прочностью при сжатии $f_m=10,9$ МПа, $f_m=7,9$ МПа, $f_m=3,1$ МПа с толщиной шва 10 мм. Для изготовления образцов на тонкослойных швах применялась заводская клеевая растворная смесь М75. Кладка образцов на тонких растворных швах велась из ячеистобетонных блоков D500 прочностью В2,5.

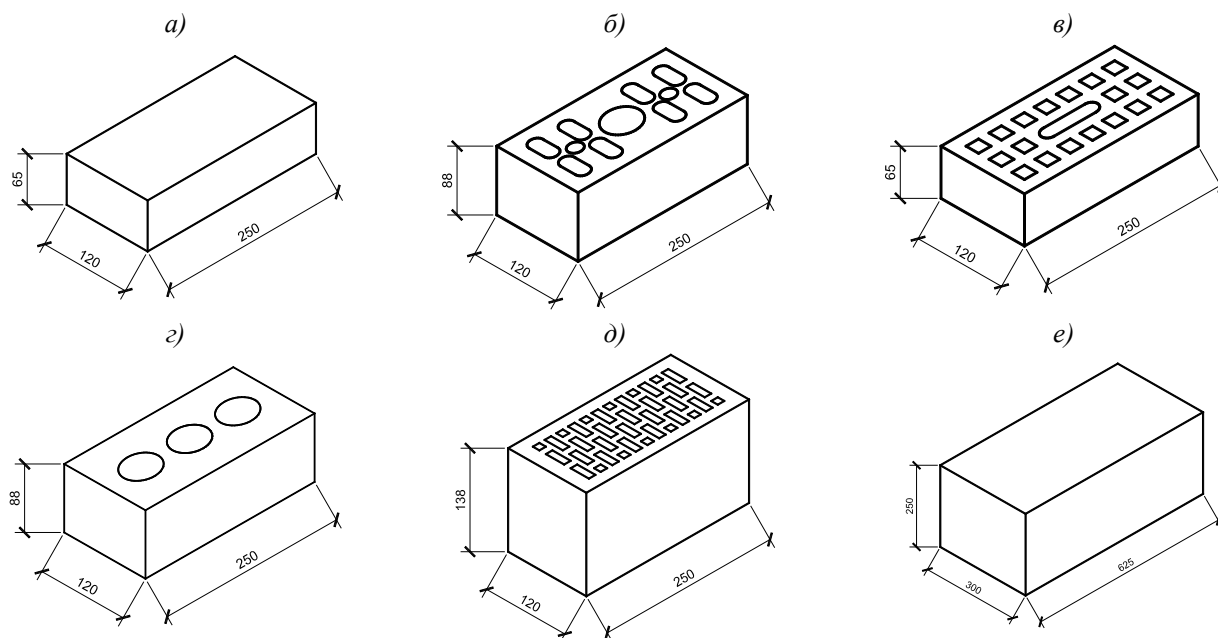


Рисунок 1 – Форма и геометрические размеры кладочных элементов:

- а* – полнотелый керамический кирпич КРО; *б* – пустотелый керамический кирпич КРПУ с пустотностью $V=18\%$; *в* – пустотелый керамический кирпич КРПО с пустотностью $V=30\%$;
- г* – силикатный кирпич СУР с пустотностью $V=18\%$; *д* – керамический поризованный камень КПП с пустотностью $V=42,3\%$; *е* – ячеистобетонный блок

Всего было испытано 32 серии образцов каменной кладки. Каждая серия включала в себя от 3 до 10 образцов. Модуль сдвига G определялся на образцах кладки, подвергнутых

сжатию сосредоточенной силой, приложенной под углом 45° к горизонтальным растворным швам [10] (рис. 2).

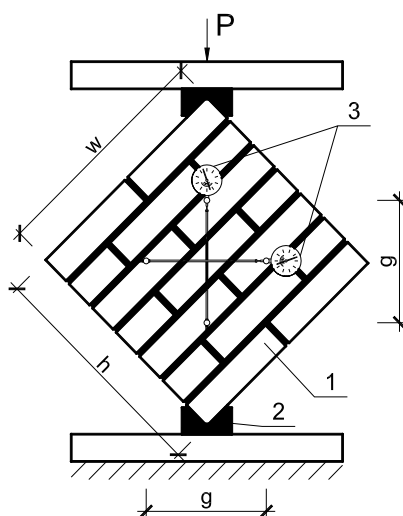


Рисунок 2 – Схема испытаний образцов кладки при диагональном сжатии:
1 – кладочный элемент; 2 – передаточный опорный башмак; 3 – индикаторы перемещений часового типа с ценой деления 0,001 мм

На основании испытаний определялись разрушающие касательные напряжения S_s (МПа) по формуле (4):

$$S_s = \frac{0,707P}{A_s}, \quad (4)$$

где P – разрушающая нагрузка (Н); A_s – площадь образца (мм^2), определяемая по формуле (5):

$$A_s = \left(\frac{w+h}{2} \right) \cdot t \cdot n, \quad (5)$$

где w – ширина образца (мм); h – высота образца (мм); t – суммарная толщина образца (мм); n – коэффициент, учитывающий пустотность кладочных элементов.

Относительные деформации сдвига γ рассчитывались по формуле (6), модуль сдвига G (МПа) – по формуле (7):

$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{g}, \quad (6)$$

где ΔV – деформации сжатия по вертикали (мм); ΔH – деформации растяжения по горизонтали (мм); g – расстояние по вертикали между индикаторами перемещений (мм):

$$G = \frac{S_s}{\gamma}. \quad (7)$$

Определение модулей упругости E_x , E_y и коэффициентов Пуассона ν_{xy} , ν_{yx} производилось на образцах каменной кладки, форма и размеры которых соответствовали EN 1052-1 [11] (рис. 3). Образцы испытывались осевой сжимающей нагрузкой, действующей перпендикулярно и параллельно направлению горизонтальных растворных швов, и доводились до разрушения.

Прочность при сжатии отдельного испытываемого образца рассчитывалась по формуле (8):

$$f_{obs,i} = \frac{F_{i,max}}{A_i}, \quad (8)$$

где $F_{i,max}$ – максимальная нагрузка, воспринимаемая образцом каменной кладки; A_i – площадь поперечного сечения образца.

Кратковременный модуль упругости E_i определялся по формуле (9) как секущий модуль при среднем значении относительной деформации ε_i , измеренной в двух точках, и нагрузке равной одной трети от разрушающей нагрузки $F_{i,max}$.

$$E_i = \frac{F_{i,max}}{3\varepsilon_{yi} A_i}, \quad (9)$$

где $F_{i,max}$ – максимальная нагрузка, воспринимаемая образцом каменной кладки; A_i – площадь поперечного сечения образца; ε_y – относительные продольные деформации.

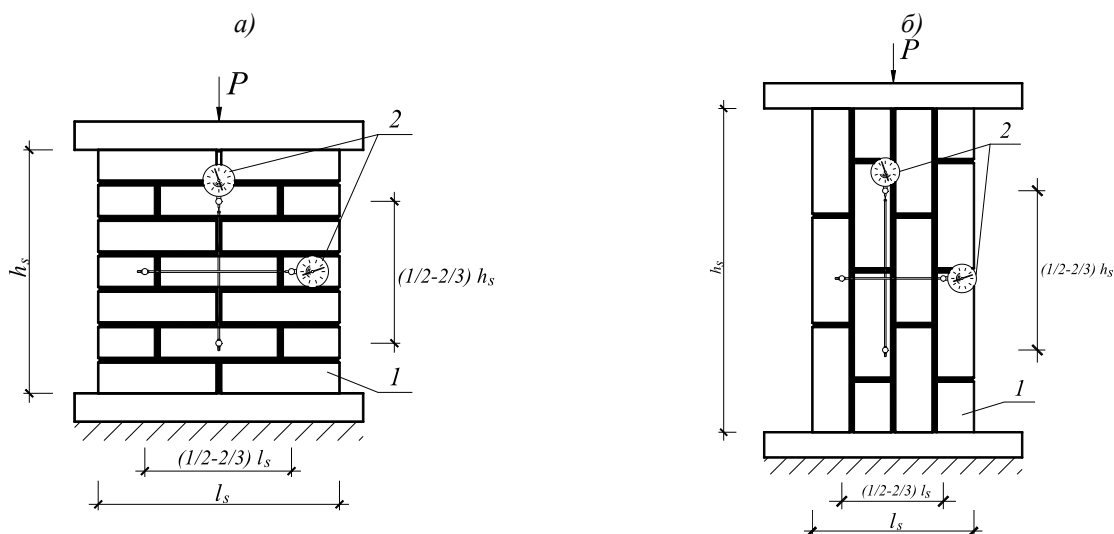


Рисунок 3 – Схема испытаний образцов кладки сжимающей нагрузкой:
а – перпендикулярно горизонтальным растворным швам;
б – параллельно горизонтальным растворным швам.
1 – кладочный элемент; 2 – индикаторы перемещений часового типа

Кроме того, по диаграмме « σ - ε » определялся начальный модуль упругости E_i , как тангенс угла наклона касательной в точке, соответствующей $\sigma=0$. Коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона) ν принимался равным отношению относительных поперечных деформаций ε_x к продольным ε_y .

Результаты исследований

Результаты определения деформационных характеристик каменных кладок приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что отношение кратковременных модулей упругости, полученных при сжатии образцов каменной кладки в направлении параллельном и перпендикулярном горизонтальным растворным швам ($E_{x,obs}/E_{y,obs}$), составляет:

- для кладки из полнотелого керамического кирпича $E_{x,obs}/E_{y,obs} = 0,79-0,88$;
- для кладки из керамического пустотелого кирпича ($V=18\%$) $E_{x,obs}/E_{y,obs} = 0,83-1,17$;
- для кладки из керамического пустотелого кирпича ($V=30\%$) $E_{x,obs}/E_{y,obs} = 0,9$;
- для кладки из поризованных керамических камней ($V=42,3\%$) $E_{x,obs}/E_{y,obs} = 0,71$;
- для кладки из силикатного пустотелого кирпича ($V=18\%$) $E_{x,obs}/E_{y,obs} = 1,67$;
- для кладки из ячеистобетонных блоков на тонких швах $E_{x,obs}/E_{y,obs} = 0,87$.

В таблице 1 приведены средние значения модулей упругости и сдвига каменной кладки, при этом коэффициент вариации деформационных свойств в зависимости от метода испытаний находился в пределах 18-25%.

Граничные значения коэффициента поперечной деформации n_{obs} , определенные для кладок сжатых перпендикулярно горизонтальным растворным швам, находятся в диапазоне 0,14-0,33, а для кладок сжатых параллельно горизонтальным швам – 0,13-0,4. Указанные значения n_{obs} устанавливались при уровне сжимающих напряжений в кладке $\sigma=0,33f_{obs}$. С увеличением сжимающих напряжений σ росли значения коэффициента поперечной деформации n_{obs} . В кладках из полнотелого кирпича прочность кладочного раствора f_m оказывала влияние на величину n_{obs} . С уменьшением f_m значение коэффициента поперечной деформации n воз-

растало. В кладках из пустотелого кирпича влияние прочности раствора f_m на величину n_{obs} было менее заметным. Графики изменения значения n_{obs} в зависимости от σ/f_{obs} приведены на рисунке 4 (f_{obs} – прочность кладки при сжатии).

Таблица 1 – Экспериментальные значения деформационных характеристик каменных кладок

Вид и прочность кладочного элемента	Прочность кладочного раствора при сжатии f_m (МПа)	Начальный модуль упругости [8] $E_{0,obs}$ (МПа)	Кратковременный модуль упругости [7] E_{obs} (МПа)	Коэффициент поперечной деформации n_{obs}	Модуль сдвига G_{obs} (МПа)	$\frac{G_{obs}}{E_{0,obs}}$	$\frac{G_{obs}}{E_{obs}}$
Полнотелый керамический кирпич (М150)	10,9	14181	11146	0,14-0,19	3377	0,24	0,3
		12239 ¹⁾	9826 ¹⁾	0,2-0,23 ¹⁾			
	7,9	13700	10677	0,19-0,25	2835	0,2	0,27
		12613 ¹⁾	8450 ¹⁾	0,27-0,33 ¹⁾			
	3,1	7752	6450	0,23-0,4	1547	0,2	0,24
		6752 ¹⁾	5150 ¹⁾	0,3-0,4 ¹⁾			
Керамический кирпич пустотностью 18% (М 125)	10,9	9580	6953	0,2-0,3	2361	0,25	0,34
		7600 ¹⁾	5815 ¹⁾	0,19-0,27 ¹⁾			
	7,9	6461	5606	0,18-0,23	2186	0,33	0,39
		8300 ¹⁾	6600 ¹⁾	0,3-0,4			
	3,1	6540	5400	0,22-0,33	1624	0,25	0,3
		6284 ¹⁾	5642 ¹⁾	0,23-0,3 ¹⁾			
Керамический кирпич пустотностью 30% (М 150)	10,9	12356	9994	0,3	4122	0,33	0,41
		12422 ¹⁾	9092 ¹⁾	0,18-0,27 ¹⁾			
Поризованный керамический камень пустотностью 42,3% (М 150)	10,9	13000	8500	0,20-0,26	2489	0,19	0,29
		6354 ¹⁾	6067 ¹⁾	0,16-0,22 ¹⁾			
Силикатный кирпич пустотностью 18% (М 150)	10,9	9400	7232	0,18-0,26	2780	0,29	0,38
		14890 ¹⁾	12133 ¹⁾	0,32-0,36 ¹⁾			
Ячеистобетонный блок D500 B2,5 на тонкослойном клеевом растворе	7,5	1355	1236	0,16-0,19	359	0,26	0,29
		1280 ¹⁾	1076 ¹⁾	0,13-0,15 ¹⁾			

¹⁾ – образцы, сжатые параллельно горизонтальным швам кладки.

Модуль сдвига G_{obs} для всех видов каменных кладок оказался ниже значения, установленного СНиП II-22-81 [8] (столбец 7 таблицы 1). Более близкое к экспериментальным значениям отношение $\frac{G}{E}$ дает Еврокод 6 [7].

По результатам испытаний прочность каменной кладки при сжатии и сдвиге образцов, изготовленных из полнотелого кирпича и дырчатого кирпича с объемом пустот $V=30\%$ на растворе $f_m=10,9$ МПа, была примерно одинакова. При этом образцы кладки из полнотелого кирпича показали значения $\frac{G}{E}$ ниже, чем образцы, изготовленные из пустотелого кирпича. Это свидетельствует о более высокой деформативности при сдвиге каменной кладки из полнотелого кирпича и, как следствие, более хорошей ее приспособляемости к вынужденным деформациям, вызванным, например, неравномерными осадками оснований, температурными, сейсмическими и другими воздействиями. Прочность кладочного раствора f_m оказывала влияние на величину модуля сдвига G_{obs} . С увеличением прочности кладочного раствора модуль сдвига увеличивался (рис. 5).

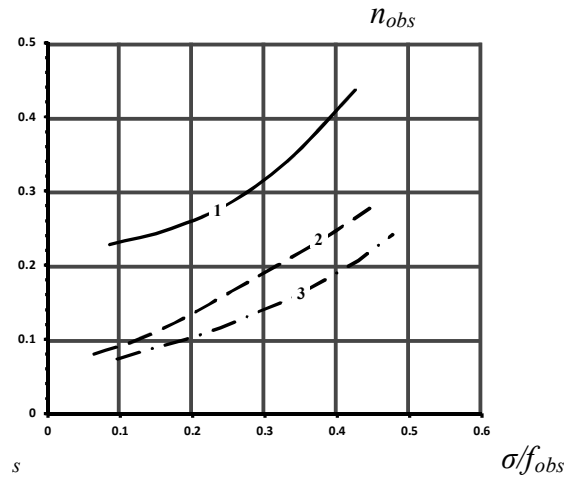


Рисунок 4 – Графики зависимости « ν - σ/f_{obs} » для кладки из полнотелого керамического кирпича при прочности раствора: 1 – $f_m=3,1$ МПа; 2 – $f_m=7,9$ МПа; 3 – $f_m=10,9$ МПа

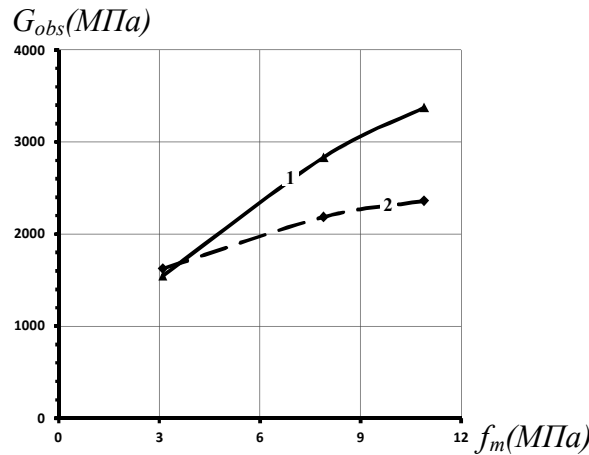


Рисунок 5 – Графики зависимости модуля сдвига G от прочности кладочного раствора f_m : 1 – кладка из полнотелого кирпича; 2 – кладка из пустотелого кирпича $V=18\%$

Известно, что в конструкциях из анизотропных материалов влияние на напряженно-деформированное состояние оказывает мера анизотропии деформационных свойств материала, которая для плоского напряженного состояния ортотропной пластины характеризуется ко-

эффициентами $k = \sqrt{\frac{E_1}{E_2}}$ и $n = \sqrt{2k + m}$, где $m = \frac{E_1}{G} - 2\mu_1$ [12]. В случае изотропной среды $k=1$, $n=2$, при анизотропии деформационных характеристик $k \neq 1, n \neq 2$.

Расчеты показывают, что для испытанных кладок коэффициенты k и n , характеризующие меру анизотропии деформационных свойств материала, незначительно отличались от $k=1$ и $n=2$. Это дает основание полагать, что при оценке напряженно деформированного состояния каменную кладку можно рассматривать как материал, обладающий слабо выраженной анизотропией деформационных свойств, которой в расчетах можно пренебречь.

Заключение

На основании выполненных исследований можно сделать следующее заключение:

1. При одинаковых прочностных показателях каменная кладка из полнотелого керамического кирпича, по сравнению с кладкой из дырчатого кирпича, обладает более высокой деформативностью при сдвиге, следовательно, и более высокой трещиностойкостью.

2. При оценке прочности и трещиностойкости каменной кладки в условиях плоского напряженного состояния анизотропию ее деформационных характеристик можно не учитывать.

3. Опытные средние значения коэффициента поперечной деформации n_{obs} , определенные для кладок сжатых перпендикулярно и параллельно горизонтальным раствором швам, были близки к значениям $n=0,25$, установленным в нормах [7, 8]. С увеличением сжимающих напряжений значения коэффициента поперечной деформации n возрастают. Прочность кладочного раствора f_m оказывает влияние на величину коэффициента поперечной деформации n . С увеличением f_m значение n снижалось.

4. Отношение модуля сдвига G к начальному (касательному) модулю упругости E_0 , установленное в СНиП II-22-81, завышено по сравнению с результатами экспериментальных исследований для всех типов опытных образцов в 1,3-2 раза. Более близким к экспериментальным значениям $\frac{G}{E}$ является отношение модуля сдвига G к кратковременному (секущему) модулю упругости E , принятое в Еврокоде 6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Онищик, Л.И. Каменные конструкции [Текст] / Л.И. Онищик. – М.: Стройиздат, 1939. – 125 с.
2. Поляков, С.В. Сцепление в кирпичной кладке [Текст] / С.В.Поляков. – М.: Госстройиздат, 1959. – 134 с.
3. Гениев, Г.А. Вопросы прочности и пластичности анизотропных материалов [Текст] / Г.А. Гениев, А.С. Курбатов, Ф.А. Самедов. – М.: Интербук, 1994. – 187 с.
4. Lourenco P.B. Computational Strategies for Masonry Structures. Dissertation, Delfi University of Technology, Delfi, Netherlands, 1996. – 210 p.
5. Kubica J. Mechanika muru obciążonego w swej płaszczyźnie. Monografie Politechniki Śląskiej. Gliwice. – 2011. – 382 p.
6. Małyszko L. Modelowanie zniszczenia w konstrukcji murowych z uwzględnieniem anizotropii. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn. – 2005. – 157 p.
7. EN 1996-1-1:2005 Eurocode 6 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk. – 127 s.
8. СНиП II-22-81* Каменные и армокаменные конструкции [Текст]. – М.: Стройиздат, 1983. – 40 с.
9. EN 1015-11:1999 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk – Teil 11: Bestimmung der Biegezug - und Druckfestigkeit von Festmörtel. – 16 p.
10. RILEM LUMB6 1991. Diagonal tensile strength tests of small walls specimens. TC76-LUM. – 5 p.
11. EN 1052-1-1998 Prüfverfahren für Mauerwerk – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit. – 10 p.
12. Лехницкий, С.Г. Теория упругости анизотропного тела [Текст] / С.Г. Лехницкий. – М.: Наука, 1977. – 406 с.

Деркач Валерий Николаевич

Филиал Республиканского унитарного предприятия «Институт БелНИИС»
«Научно-технический центр», Республика Беларусь, г. Брест
Кандидат технических наук
Тел.: +375 (162) 41-19-61
E-mail: v-derkach@yandex.ru

DERKATCH V.N.

DEFORMATION CHARACTERISTICS OF MASONRY IN THE PLANE STRESS STATE

Techniques and results of experimental investigations of the deformation characteristics of masonry in compression at various angles to the horizontal mortarjoints. Obtained values of shear modulus, and elastic modulus, and coefficients of transverse strain in the direction of the principal axes of nisotropy of masonry made of different types of masonry elements and cluster dochnyh solutions. According to the research revealed that with the same strength indicator, masonry of ceramic brick corpulent compared with laying of perforated brick, on-possesses higher deformability under shear,

hence, higher crack resistant, Stu. In assessing the strength and crack resistance of masonry in a plane stress anisotropy of the deformation characteristics can be ignored.

Keywords: *masonry, modulus of elasticity, poisson's ratio, shear modulus, anisotropic properties.*

BIBLIOGRAPHY

1. Oniwik, L.I. Kamennye konstrukcii [Tekst] / L.I. Oniwik. – M.: Strojizdat, 1939. – 125 s.
2. Poljakov, S.V. Scephlenie v kirpichnoj kladke [Tekst] / S.V. Poljakov. – M.: Gosstrojizdat, 1959. – 134 s.
3. Geniev, G.A. Voprosy prochnosti i plastichnosti anizotropnyh materialov [Tekst] / G.A. Geniev, A.S. Kurbatov, F.A. Samedov. – M.: Interbuk, 1994. – 187 s.
4. Lourenco P.B. Computational Strategies for Masonry Structures. Dissertation, Delfi University of Technology, Delfi, Netherlands, 1996. – 210 p.
5. Kubica J. Mechanika muru obciążonego w swej płaszczyźnie. Monografie Politechniki Śląskiej. Gliwice. – 2011. – 382 p.
6. Małyszko L. Modelowanie zniszczenia w konstrukcji murowych z uwzględnieniem anizotropii. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn. – 2005. – 157 p.
7. EN 1996-1-1:2005 Eurocode 6 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk. – 127 s.
8. SNiP II-22-81* Kamennye i armokamennye konstrukcii [Tekst]. – M.: Strojizdat, 1983. – 40 s.
9. EN 1015-11:1999 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk – Teil 11: Bestimmung der Biegezug - und Druckfestigkeit von Festmörtel. – 16 p.
10. RILEM LUMB6 1991. Diagonal tensile strength tests of small walls specimens. TC76-LUM. – 5 p.
11. EN 1052-1-1998 Prüfverfahren für Mauerwerk – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit. – 10 r.
12. Lehnickij, S.G. Teorija uprugosti anizotropnogo tela [Tekst] / S.G. Lehnickij. – M.: Nauka, 1977. – 406 s.

Derkach Valery Nikolaevich

Branch of Republican unitary enterprise «Institute BelSRIB»

«Scientific and technical center», Republic Belarus, Brest

Candidate of technical science

Ph.: +375 (162) 41-19-61

E-mail: v-derkach@yandex.ru

КАРПЕНКО Н.И., СОКОЛОВ Б.С., РАДАЙКИН О.В.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДЕФОРМАЦИЙ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА И АРМАТУРЫ

Целью проведенных исследований ставилось выполнить анализ результатов расчета по деформациям изгибаемых железобетонных элементов с использованием нелинейной деформационной модели и различных видов диаграмм деформирования бетона и арматуры. В качестве «эталона» сравнения в работе принята методика расчета по методу предельных состояний СНиП 2.03.01-84. Установлено, что наилучшую сходимость показали результаты, полученные по методике академика Н.И. Карпенко.*

Ключевые слова: изгибаемый элемент, железобетон, жесткость, диаграмма деформирования, диаграммный метод, методика расчета.

Изучение научной и нормативной литературы показало, что расчеты с использованием диаграммного метода обладают высокой степенью надежности в оценке прочности и деформативности. Однако дискуссионным остается вопрос: «Какой зависимостью аппроксимировать экспериментальные кривые деформирования бетона и стальной арматуры?». Выбор вида диаграмм может существенно повлиять на точность решения задач.

Учитывая это, целью работы ставилось провести анализ результатов расчета по деформациям изгибаемых железобетонных элементов с использованием деформационной модели и различных видов диаграмм деформирования бетона и стальной арматуры.

В качестве «эталона» сравнения в работе принята традиционная методика расчета изгибаемых элементов по методу предельных состояний [1]. За длительную историю существования она показала свою высокую надежность и работоспособность.

Для сопоставления с «эталонном» приняты три наиболее используемых расчетных подхода к построению диаграмм деформирования материалов:

- СП 52-01-2003 [2];
- Еврокод-2 [3];
- теоретические разработки, изложенные в работе [4].

Следует отметить, что в белорусских строительных нормах СНБ 5.03.01-02 [5] приняты диаграммы Еврокода.

Ниже в таблице 1 приведен общий вид исследованных диаграмм. Сравнивая их, можно отметить, что:

А. Для бетона:

1. Во всех методиках для бетона при сжатии и растяжении вид диаграмм один и тот же. Различными являются только прочностные и предельные деформационные характеристики материала, которыми описываются диаграммы.

2. В Еврокоде [3] характеристики бетона устанавливаются по результатам испытаний стандартных цилиндров на сжатие, в остальных методиках – призм. Помимо того, что для одного и того же класса бетона цилиндрическая прочность f_{ck} получается несколько выше призмочной R_b (≈на 6,7%), в [3] вместо гарантированной прочности с обеспеченностью 95% принимается средняя прочность цилиндров на сжатие: $f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ МПа} > R_b$.

3. Согласно [2] экспериментальные диаграммы деформирования аппроксимируются кусочно-линейной зависимостью, а в [3], [4] эта зависимость криволинейная. Преимущество первого подхода в его простоте для практических расчетов, в том числе с применением программных комплексов. Однако такое допущение может привести к погрешностям в вычислениях.

4. Первые две диаграммы имеют три характерных участка: участок упругой работы бетона, участок упругопластической работы, ниспадающий участок (или ниспадающую ветвь). Граница между этими участками для каждой методики своя: для СП [2] уровень напряжений σ_b/R_b в конце упругой стадии равен 0,6, для Еврокод-2 [3] – 0,4.

Таблица 1 – Диаграммы деформирования бетона и стальной арматуры

Ист.	Вид диаграмм	
	Бетона	Стальной арматуры с физическим пределом текучести
СП 52-101-2003 [2]		
Еврокод 2 (1992) [3], СНБ 5.03.01-02 [5]		
Карпенко Н.И. [4]		

На диаграммах [4] видно два характерных участка – восходящая и ниспадающая ветвь, то есть предполагается, что бетон работает неупруго сразу после начала загрузки и вплоть до вершины диаграммы.

5. Наиболее протяженная ниспадающая ветвь строится по формулам [4], здесь она имеет три характерных участка, что позволяет наиболее полно отразить фактическую работу бетона на этой ветви. В [3] ниспадающая ветвь представлена одним почти прямолинейным отрезком, наклоненным к вертикальной оси. Для обоих подходов характерно, что на этой ветви с ростом деформаций напряжения падают. В СП [2] третий участок диаграммы проходит параллельно горизонтальной оси, поэтому в отличие от [3], [4] здесь с ростом деформаций напряжения остаются постоянными. Соответственно этому модуль деформаций, равный тангенсу угла наклона касательной к кривой, здесь равен нулю, что не в полной мере соответствует физики явления. Однако такое вполне допустимо, поскольку в практических инженерных расчетах используется не касательный, а секущий модуль деформаций, о чем речь пойдет далее.

Б. Для стальной арматуры с физическим пределом текучести:

1. Диаграммы СП [2] и Еврокод-2 [3] состоят из двух прямолинейных участков. Первый из них описывает упругую работу стали, второй – текучесть и последующую упруго-

пластическую стадию вплоть до разрыва арматуры. Причем в [3] второй участок является наклонным, что способствует более полному учету свойств материала без усложнения расчетных предпосылок.

2. Диаграмма деформирования арматуры [4] после предела упругости аппроксимируются нелинейной зависимостью, что ближе соответствует экспериментам.

Хотя рассмотрение элементов из предварительно напряженного железобетона выходит за рамки данной статьи, однако отметим, что в Пособии к СП 52-102-2003 для высокопрочной стальной арматуры с условным пределом текучести принята трехлинейная диаграмма деформирования по форме подобная диаграмме бетона [2], приведенной выше. В [3] диаграммы для обоих видов арматуры по форме и по принципу построения являются схожими. В [4] диаграммы для стальной арматуры с физическим и условным пределом текучести строятся по одним и тем же зависимостям, только в последнем случае из рассмотрения исключается участок «*pki*» кривой (см. нижний рисунок табл. 1).

Итак, в качестве объекта исследований в статье рассмотрен изгибаемый железобетонный элемент прямоугольного профиля с одиночной ненапрягаемой арматурой, имеющей ярко выраженную площадку текучести. На рисунке 1 приведена расчетная схема его нормального сечения, где показаны внешние и внутренние усилия, а также необходимые геометрические параметры.

По известному из литературы алгоритму [2, 3, 4, 5] авторами был выполнен расчет жесткости выше рассмотренного элемента при различном значении изгибающего момента. При этом варьировались класс бетона В (В10, В25, В60) и процент армирования μ (0%, 0,63%, 2,31%, 3,08%). Принятая арматура – класса А400. Рассматривалось только непродолжительное действие нагрузки.

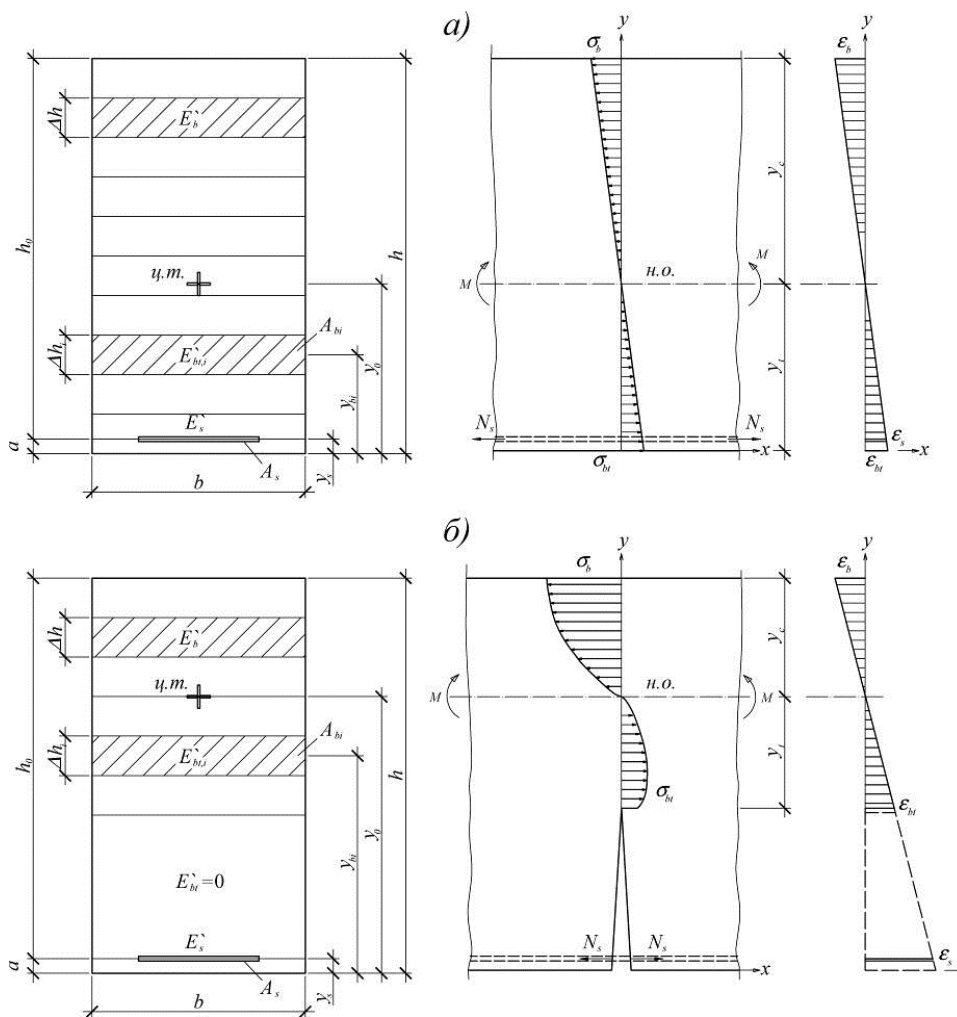


Рисунок 1 – Расчетная схема нормального сечения изгибаемого железобетонного элемента (а) до и (б) после образования трещины

На рисунке 2 показаны графики изменения исследуемых величин при непродолжительном действии нагрузки для бетона В25 и процента армирования $\mu=0,63\%$ ($2\text{Ø}18 \text{ A}400$, $\xi<\xi_R$) и $\mu=2,31\%$ ($3\text{Ø}28 \text{ A}400$, $\xi=\xi_R$).

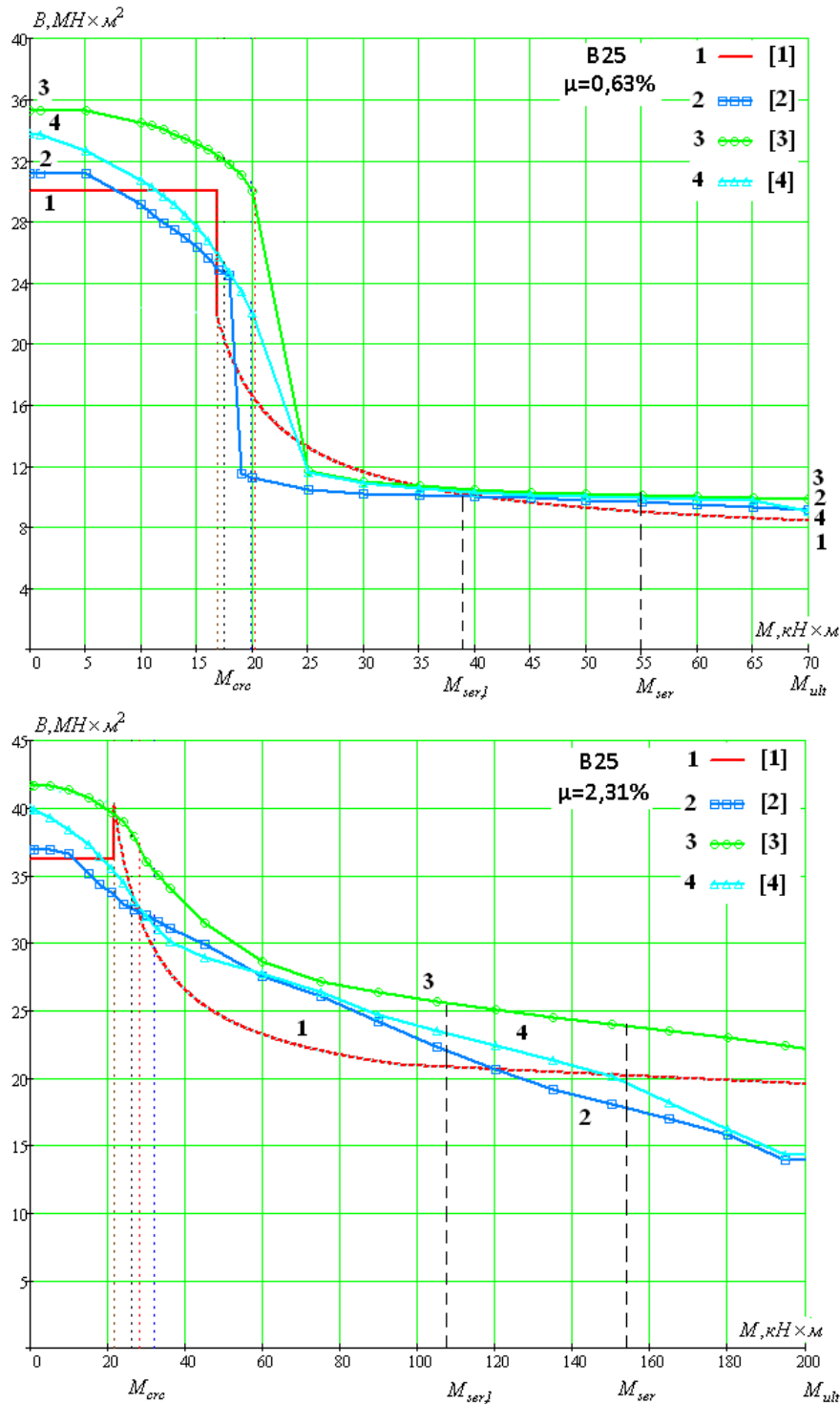


Рисунок 2 – Жесткость при непродолжительном действии нагрузки:

1 – [1], 2 – [2], 3 – [3], 4 – [4];

M_{crc} – момент образования трещины; M_{ult} – предельный момент;

M_{ser} – нормативный момент от полной нагрузки, $M_{ser} \approx M_{ult}/1,3$;

$M_{ser,l}$ – нормативный момент от постоянной и длительной нагрузки, $M_{ser,l} \approx 0,7M_{ser}$.

Для удобства анализа результатов область изменения изгибающего момента разбита на три характерных участка: 1 – от 0 до M_{crc} ; 2 – от M_{crc} до M_{ser} ; 3 – от M_{ser} до M_{ult} .

Участок-1 $0 \leq M \leq M_{crс}$ соответствует стадиям I и Ia НДС изгибаемого элемента.

1. Различие в «начальной» жесткости B_0 железобетонного сечения при $M=0$ обусловлено разными расчетными предпосылками той или иной методики (см. табл. 2). Так, жесткость согласно [1] и [2] определяется при пониженном значении модуля деформаций бетона $E_{b1} = 0,85E_b < E_b$, в [3] $E_{b1} = E_b$, в [4] $E_{b1} \approx 0,9E_b < E_b$. Согласно этому наибольшее значение B_0 получается по методике Еврокод-2 и Н.И. Карпенко, а минимальное – по СНиП 2.01.03-84* и СП 52-01-2003. Несущественная разница результатов между двумя последними нормами обусловлена погрешностью численного метода, заложенного в программный комплекс.

Таблица 2 – «Начальная» жесткость при непродолжительном действии нагрузки (для В25)

μ, %	Жесткость сечения B_0 , МН×м			
	Расчетная методика			
	[1]	[2]	[3]	[4]
0,63	30,02	$\frac{30,74}{1,024^*}$	$\frac{35,26}{1,175}$	$\frac{33,78}{1,125}$
		36,24	$\frac{36,94}{1,019}$	$\frac{41,61}{1,148}$

Примечание:

* – в знаменателе приведено отношение жесткости, полученное по сравниваемой методике, к значению по СНиП [1].

2. Применение диаграммного метода в независимости от вида диаграмм обеспечивает плавность перехода в значениях жесткости от стадии I к стадии II НДС изгибаемого элемента, в то время как по СНиП [1] на участке $0 \leq M \leq M_{crс}$ жесткость постоянна, а затем идет резкое ее снижение.

3. Максимальное расхождение в значениях жесткости наблюдается при моменте $M=M_{crс}$, вычисленном по [1]. При фиксированном классе бетона (В25) величина расхождения зависит от процента армирования (табл. 3).

Таблица 3 – Жесткость в момент образования трещин при непродолжительном действии нагрузки (для бетона В25)

μ, %	$M_{crс}$, кН·м	Жесткость сечения B , МН×м			
		Расчетная методика			
		[1]	[2]	[3]	[4]
0,63	16,307	22,2	$\frac{24,8}{1,117^*}$	$\frac{32,4}{1,459}$	$\frac{26,1}{1,176}$
			36,24	$\frac{33,3}{0,919}$	$\frac{39,4}{1,088}$

Примечание:

* – в знаменателе приведено отношение жесткости, полученное по сравниваемой методике, к значению по СНиП [1].

При близком к минимальному проценте армирования $\mu=0,63\%$ лучший результат показывает методика [2] – расхождение 11,7%, а при высоком $\mu=2,31\%$ – методика [4] – расхождение 3,2%.

4. При определении момента образования трещин (правая граница первого участка) почти во всех рассмотренных случаях $M_{crс}$ по [2, 3, 4] получился больше, чем по СНиП [1] (см. рис. 3).

Причем общая тенденция для всех трех методик такова, что с увеличением класса бетона, с одной стороны, и снижением процента армирования, с другой, сходимость их с формулой $M_{crc} = \gamma R_{bt,ser} W_{red}$ [1] улучшается. И наиболее близкие результаты показывает методика СП [2]. Далее идут методики [4] и [3] соответственно.

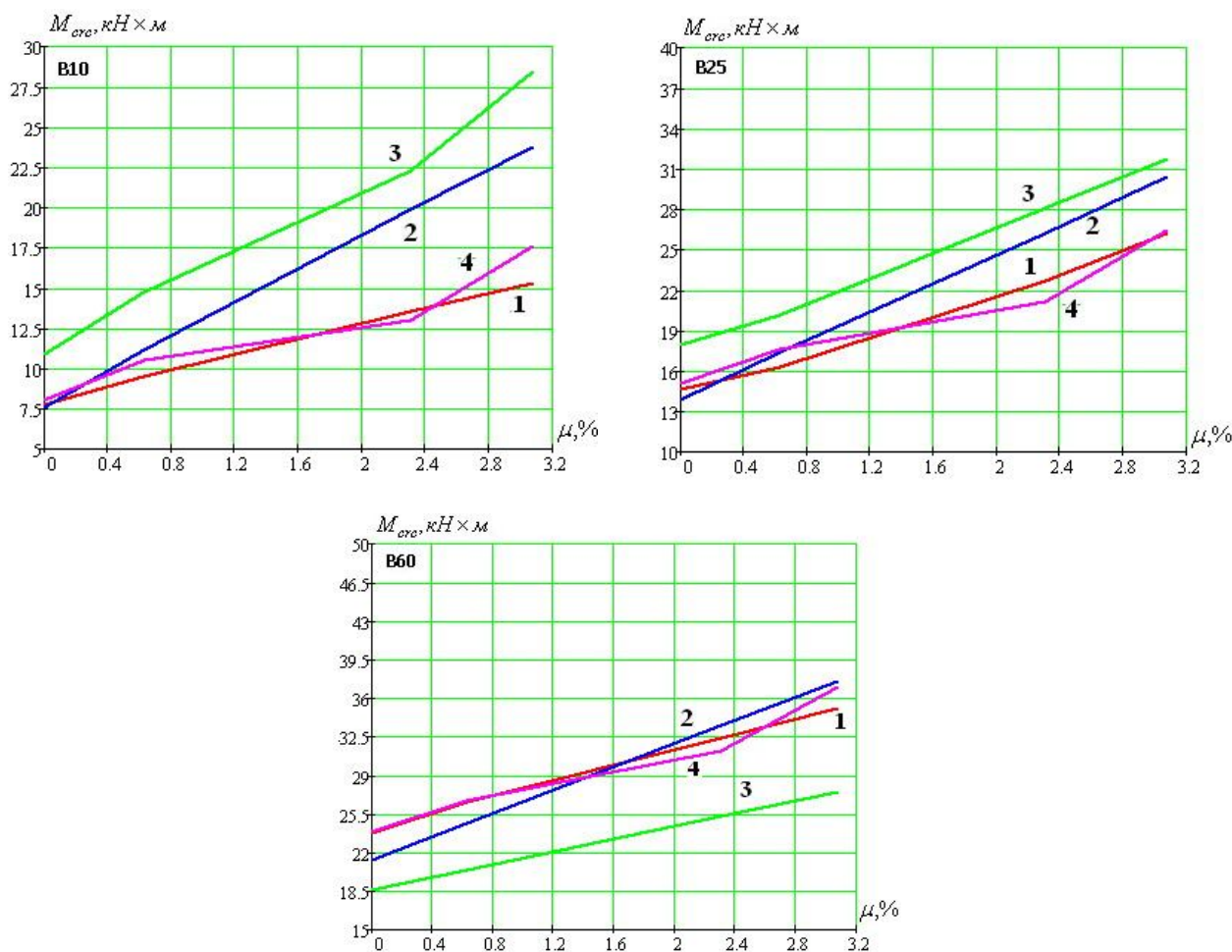


Рисунок 3 – Момент трещинообразования M_{crc} в зависимости от процента армирования μ : 1 – [1]; 2 – [2]; 3 – [3]; 4 – [4]

Превышение момента M_{crc} , полученного по [2], [3], [4], в сопоставлении с [1] объясняется тем, что по диаграммному методу высота растянутой зоны бетона y_0 (см. рис. 4) перед самым образованием трещины получается существенно выше, чем по традиционному подходу. Это приводит к уменьшению высоты сжатой зоны, увеличению напряжений крайнего сжатого волокна и смещению равнодействующей напряжений сжатой зоны к верхней грани бетона, что влечет за собой увеличение плеча внутренней пары сил и, как следствие, увеличение M_{crc} . При этом завышение результатов по Еврокод-2 в сравнении со всеми остальными методиками обусловлено применением в нем среднего значения цилиндрической прочности бетона f_{cm} и соответствующего ему среднего значения временного предела прочности на растяжение f_{ctm} . При этом $f_{cm} = (1,30 \dots 2,13) R_{bn}$, $f_{ctm} = (1,41 \dots 1,52) R_{bt,ser}$ в зависимости от класса бетона.

Отметим, что расхождение значений при определении M_{crc} по рассматриваемым методикам [2, 3, 4] обусловлен как различием в значениях y_0 , так и самой картиной распределения нормальных напряжений по высоте сечения, что в свою очередь зависит от вида используемых диаграмм деформирования материала.

Также отметим, что значения M_{crc} для бетона класса В60, полученные по Еврокод-2, оказались существенно ниже, чем по всем остальным методикам. Причиной тому стало

вырождение диаграммы « $\sigma_{bt}-\varepsilon_{bt}$ » при построении ее по формулам Еврокод-2 в прямолинейную зависимость.

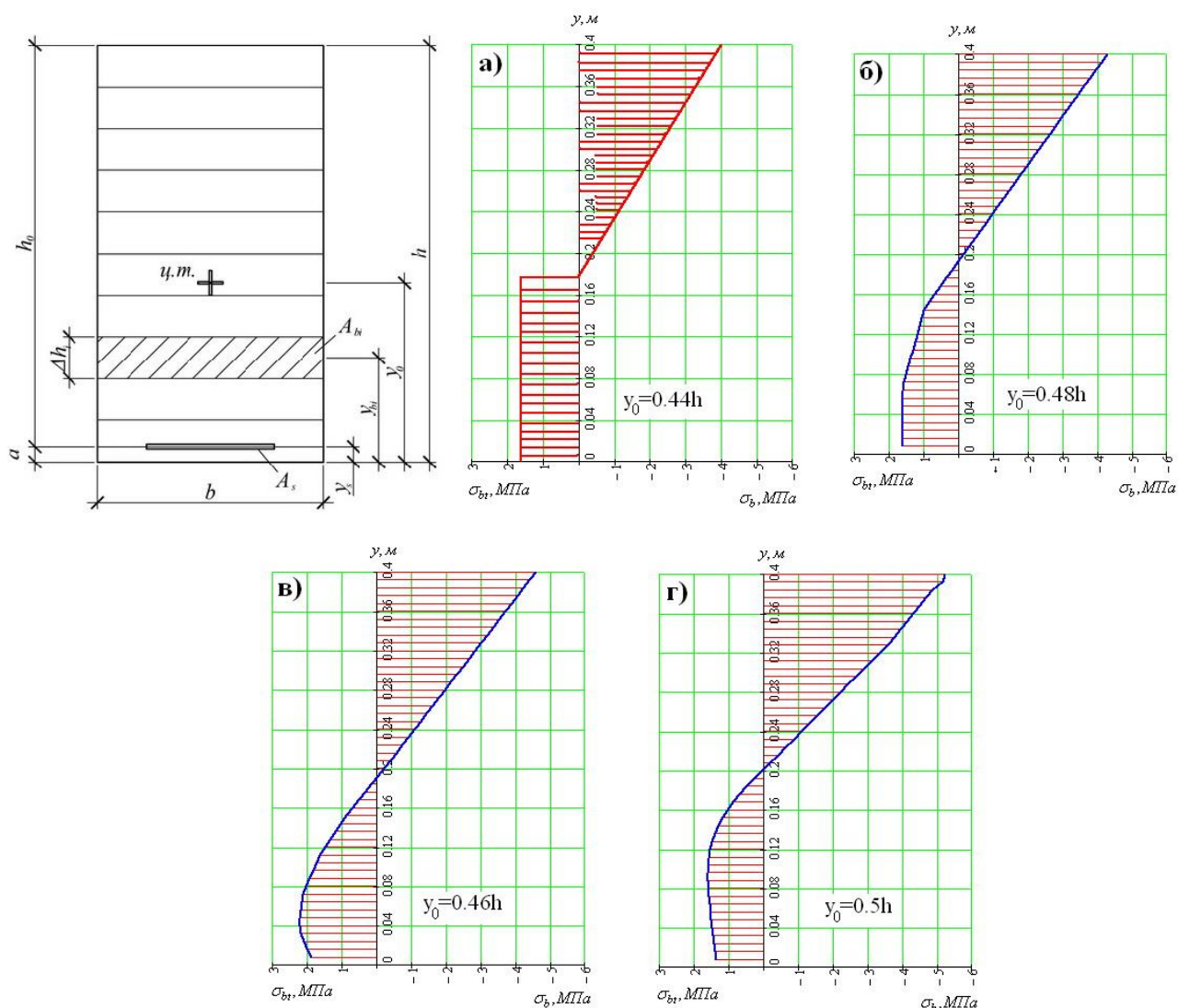


Рисунок 4 – Распределение нормальных напряжений по высоте сечения элемента (В25, $\mu=2,031\%$): а – [1]; б – [2]; в – [3]; г – [4]

5. Для неармированного (бетонного) элемента, как видно из графиков рисунка 3, наилучшей схожимостью с формулой СНиП [1] для момента трещинообразования $M_{crc} = R_{bt,ser} b h^2 / 3,5$ обладают результаты, полученные по методике [4]. Разница здесь в зависимости от принятого класса бетона не превышает 3,9%. Наибольшее расхождение имеют данные методики Еврокод-2 [3] (наблюдается завышение до 40%), что обусловлено, как и в предыдущем случае, применением в этом нормативе среднего значения прочности $f_{ctm} > R_{bt,ser}$. Следует отметить, что при низких классах бетона приемлемые результаты также дает методика СП [2], расхождение составляет 2,5÷10,5%.

Участок-2 $M_{crc} \leq M \leq M_{ser}$ соответствует стадии II НДС изгибаемого элемента или эксплуатационной стадии работы элемента.

При фиксированном классе бетона (В25) расхождение значений жесткости и кривизны зависит от процента армирования:

1. При близком к минимальному проценте армирования $\mu=0,63\%$ в эксплуатационной стадии ($M_{ser} \approx M_{ult}/1,3 \approx 55 \text{ кН}\cdot\text{м}$ и $M_{ser,l} \approx 0,7 M_{ser} = 38,5 \text{ кН}\cdot\text{м}$) расхождение между всеми четырьмя рассматриваемыми методиками является несущественным.

2. При высоком проценте армирования $\mu=2,31\%$ ($M_{ser} \approx M_{ult}/1,3 \approx 155 \text{ кН}\cdot\text{м}$ и $M_{ser,1} \approx 0,7M_{ser} = 108,5 \text{ кН}\cdot\text{м}$) наблюдаются заметные расхождения методик [2, 3, 4] со СНиП [1] на протяжении всего участка. Так, для [2] это расхождение составляет в среднем 18-22%, для [3] расхождение примерно такое же, а наилучшее совпадение в этой области дает методика [4] – разница в значениях жесткости не превышает 16% и в среднем составляет 9%.

Участок-3 $M_{ser} \leq M \leq M_{ult}$ соответствует переходу от стадии II к стадии III НДС изгибаемого элемента или стадии разрушения.

1. При фиксированном классе бетона (В25) расхождение значений жесткости и кривизны зависит от процента армирования:

- при низком $\mu=0,63\%$ наибольшее расхождение наблюдается в конце стадии II НДС ($M \approx M_{ult} \approx 70 \text{ кН}\cdot\text{м}$). Лучший результат при этом показывает методика [4]: разница с [2] составляет +7,5%. Однако при $M_{ser} \leq M < M_{ult}$ расхождение между всеми четырьмя методиками является несущественным.

- при высоком $\mu=2,31\%$ наблюдаются заметные расхождения методик [2, 3, 4] со СНиП [1] на всей области изменения изгибающего момента. Так, для [2] это расхождение достигает 28% при $M=M_{ult}$. А наилучшее совпадение в этой области дает методика [4].

2. При вычислении разрушающего момента M_{ult} по [2, 4] существенных расхождений с [1] не наблюдается. Исключение составляет комбинация В10 и $\mu=3,08\%$: по СНиП [2] $M_{ult}=40,983 \text{ кН}\cdot\text{м}$, что значительно ниже значений, полученных по другим методикам. Это явилось следствием того, что вычисленная по формуле $x = R_s A_s / (R_b b)$ высота сжатой зоны бетона превысила высоту сечения h самого элемента. Большое расхождение с [1] показывает методика Еврокод-2, особенно при низких классах бетона и больших процентах армирования: наблюдается завышение результатов до 80%. Причина этому, как уже было сказано выше, кроется в применении в [3] среднего значения цилиндрической прочности бетона $f_{cm} > R_{bn}$.

Выводы

1. Рассмотрен расчет жесткости изгибаемых железобетонных элементов без предварительного напряжения арматуры по трем диаграммным методам [1, 2, 3] и выполнено сопоставление полученных данных с методикой СНиП 2.03.01-84*. Установлено, что расхождение результатов при определении жесткости сечения В, момента трещинообразования M_{cr} и разрушающего момента M_{ult} по сравниваемым методикам зависит от вида принятых диаграмм состояния материалов, класса бетона по прочности, процента армирования и уровня нагружения.

2. Проанализированы причины расхождения, которые заключаются в различии аналитических предпосылок к построению диаграмм деформирования бетона и арматуры и в разнице подходов отечественных и зарубежных норм [1, 2, 3] к определению прочности бетона на растяжение и сжатие.

3. При изменении жесткости изгибаемых железобетонных элементов по мере увеличения нагрузки лучшую сходимости со СНиП 2.01.03-84* показали результаты, полученные по методике [4]. Для этого в ее аналитические соотношения, описывающие диаграммы деформирования бетона при сжатии и растяжении, введены корректирующие коэффициенты, учитывающие класс бетона и процент армирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции [Текст]. – М.: НИИЖБ Госстрой СССР, 1985. – 87 с.
2. СП 52-101-2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры [Текст]. – М.: ГУП НИИЖБ Госстроя России, 2004. – 186 с.
3. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings.
4. Карпенко, Н.И. Общие модели механики железобетона [Текст]. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
5. СНБ 5.03.01-02 Бетонные и железобетонные конструкции [Текст]. – Минск: Минстройархитектуры, 2003. – 149 с.

Карпенко Николай Иванович

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией «Проблем прочности и качества в строительстве»

E-mail: niisf_lab9@mail.ru

Соколов Борис Сергеевич

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Железобетонные и каменные конструкции»

E-mail: sokolov@ksaba.ru

Радайкин Олег Валерьевич

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань

Ассистент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции»

E-mail: olegxxii@mail.ru

KARPENKO N.I., SOKOLOV B.S., RADAYKIN O.V.

**A DETERMINATION OF STRAIN REINFORCE CONCRETE
FLEXURAL ELEMENTS USING STRESS-STRAIN DIAGRAM
OF CONCRETE AND REINFORCEMENT**

The aim of the research was to analyze the results of calculation of bending deformations of reinforced concrete elements using nonlinear deformation model and the various kinds of stress-strain diagrams of concrete and reinforcement. As a «standard» in comparing the traditional method of calculation adopted by the method of limiting states CHuII 2.03.01-84. Found that the best convergence with him to the results obtained by the method of academician N.I. Karpenko.*

Keywords: flexural elements, reinforced concrete, stiffness, stress-strain diagram, diagram method, the method of calculation.

BIBLIOGRAPHY

1. SNiP 2.03.01-84* Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii [Tekst]. – M.: NIIZhB Gosstroj SSSR, 1985. – 87 s.
2. SP 52-101-2003 Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii bez predvaritel'nogo naprjazhenija armatury [Tekst]. – M.: GUP NIIZhB Gosstroja Rossii, 2004. – 186 s.
3. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings.
4. Karpenko, N.I. Obwie modeli mehaniki zhelezobetona [Tekst]. – M.: Strojizdat, 1996. – 416 s.
5. SNB 5.03.01-02 Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii [Tekst]. – Minsk: Ministrojarhitektury, 2003. – 149 s.

Karpenko Nikolay Ivanovich

Research institute of construction physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow

Doctor of technical science, professor, manager of laboratory «Durability and quality problems in construction»

E-mail: niisf_lab9@mail.ru

Sokolov Boris Sergeevich

Kazan state architectural and construction university, Kazan

Doctor of technical science, professor, manager of department «Ferro-concrete and stone designs»

E-mail: sokolov@ksaba.ru

Radaykin Oleg Valeryevich

Kazan state architectural and construction university, Kazan

Assistant of department «Ferro-concrete and stone designs»

E-mail: olegxxii@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СОСТАВНОГО СЕЧЕНИЯ, ПОДВЕРГНУТЫХ ИЗГИБУ С КРУЧЕНИЕМ

Приведены результаты экспериментальных исследований железобетонных конструкций составного таврового сечения с предварительным напряжением арматуры, работающих при совместном действии крутящего и изгибающего моментов. Получены опытные значения распределения продольных деформаций по граням образцов, нагрузок трещинообразования, ширины раскрытия трещин, разрушающих нагрузок.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, составное сечение, экспериментальные исследования, тавровое сечение, деформации, напряжения, характер разрушения.

Экспериментальные исследования выполнены с целью получения опытных параметров несущей способности, деформативности и трещиностойкости железобетонных элементов составного таврового сечения с предварительно напряженной арматурой при совместном действии крутящего и изгибающего моментов. В настоящее время проведены комплексные исследования железобетонных элементов составного сечения [1], при этом объем исследований элементов составного сечения при изгибе с кручением незначителен [2].

Программа экспериментальных исследований приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Программа экспериментальных исследований

Схема испытаний	Приложение нагрузки		Сечение образца	Серия
	№ схемы	Схема нагружения		
	1	$l_1=l_2=1/3l$		Б-1
	2	$l_1=620 \text{ мм}$ $l_2=160 \text{ мм}$		
	1	$l_1=l_2=1/3l$		Б-2
	2	$l_1=620 \text{ мм}$ $l_2=160 \text{ мм}$		

Были изготовлены опытные образцы составного таврового сечения 2-х серий (Б-1, Б-2), отличающихся компоновкой поперечного сечения. Экспериментальные образцы каждой серии состоят из сборного элемента БС и монолитной части. В образцах серии Б-1 бетон домоноличевания располагался в верхней части сечения и составляет полку тавра. В образцах серии Б-2 – в верхней части сечения и составляет полку и часть стенки тавра.

Сборные элементы БС изготовлены из бетона класса В25, габаритные размеры элемента 120×120×1500 мм. В качестве напрягаемой арматуры была принята стержневая арматура Ø12 мм класса Ат-V (А800) по ГОСТ 5781. На опорных участках сборных элементов при создании преднапряжения на стержневую арматуру устанавливали дополнительное армирова-

ние вязальной проволокой $\varnothing 2$ мм в виде спирали, что исключило возможность проскальзывания рабочей арматуры. Поперечное армирование из проволоки диаметром 4 мм класса Вр-I (B500) по ГОСТ 5781-82*. Поперечное армирование выполнено с шагом 50-100 мм по всей длине элемента. Конструкция экспериментальных балок приведена на рисунке 1.

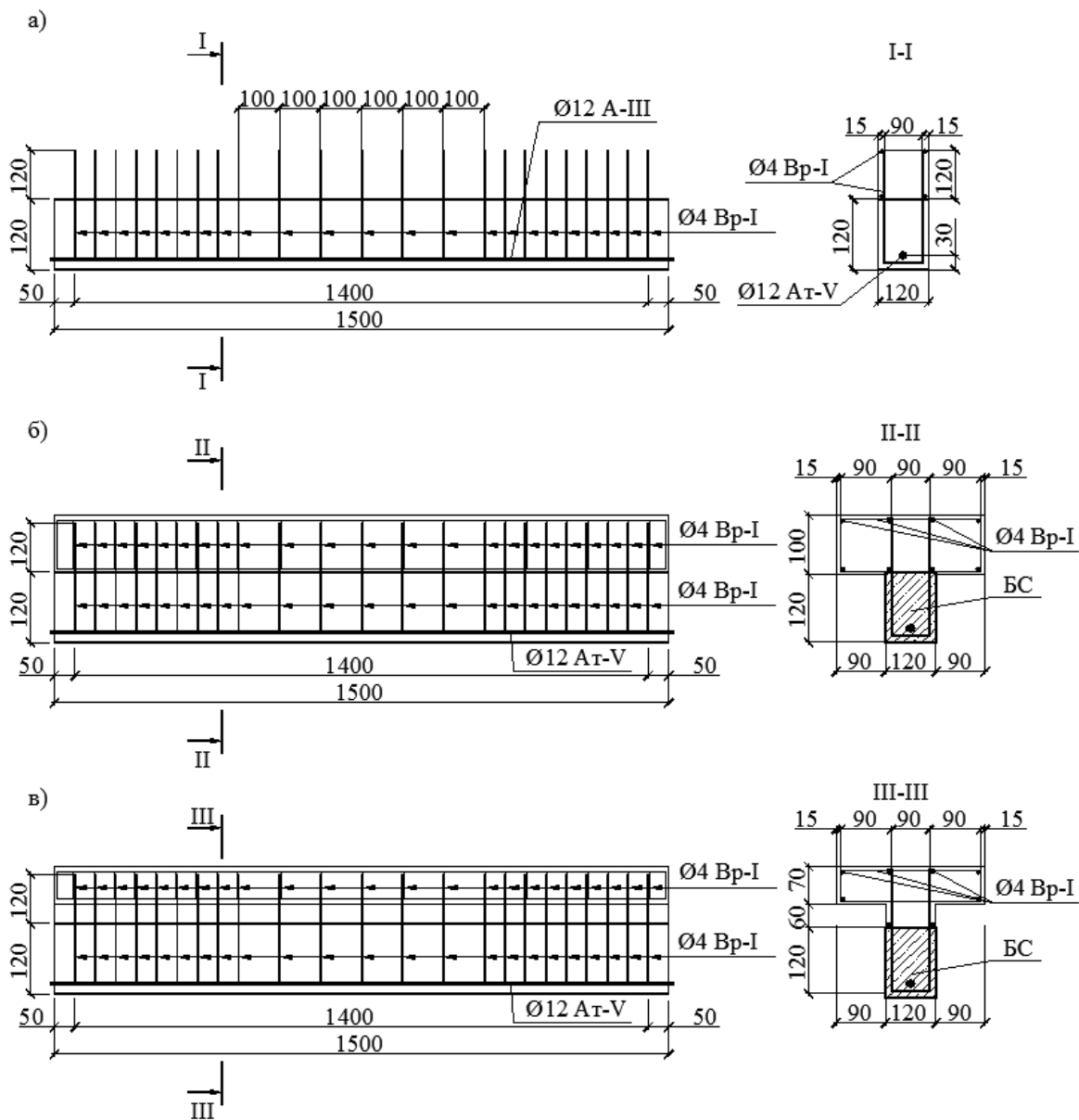


Рисунок 1 – Конструкция экспериментальных балок серий: а – БС; б – Б-1; в – Б-2

При изготовлении сборных балок опытные величины предварительного напряжения при отпуске арматуры (σ_{spo}) в среднем составили 613,6 МПа.

Сборные элементы БС добетонированы до таврового сечения проектного размера бетоном класса В12,5.

Для создания жесткого шва соединения бетонов разных классов использовались выпуски арматурного каркаса К-1 и природная шероховатость бетонов (см. рис. 1).

Для экспериментальных исследований был разработан и изготовлен стенд, позволяющий проводить испытания на совместное действие изгибающего и крутящего моментов. Стенд представляет собой конструкцию шарнирно-рычажного типа, сваренную из прокатных профилей, состоящую из опорной балки, стоек, шарнирно соединенных рычагов и упоров, обеспечивающих устойчивость опытных образцов на стенде. Конструкция опор и упоров опытных балок обеспечивала их устойчивость на всех этапах испытаний.

Продольные деформации замеряли индикаторами многооборотными часового типа МИГ-1 с ценой деления 0,001 мм на базе 200-450 мм по ГОСТ 9696 и тензорезисторами типа КФ5П1-20-200-А-12 с базой 20 мм по ТУ 3.06.7710-0001-93, наклеенными на бетон наиболее растянутой грани сборных элементов вдоль рабочей предварительно напряженной арматуры между местами приложения нагрузки.

Проведены испытания железобетонных элементов составного сечения по схемам, соответствующим различной компоновки поперечного сечения элементов и различной схемы испытания.

Выполнен анализ основных параметров железобетонных образцов составного сечения, работающих при совместном действии крутящего и изгибающего моментов, на различных стадиях нагружения. Экспериментально определен характер трещинообразования и развития трещин железобетонных образцов составного сечения, изучено изменение расстояния между трещинами и длины развития трещин по мере увеличения нагрузки (выявлен многоуровневый процесс образования трещин), относительных деформаций сжатого бетона. Установлены особенности деформирования и разрушения железобетонных элементов составного сечения.

В процессе экспериментальных исследований выявлена закономерность образования и развития трещин в железобетонных образцах составного сечения при совместном действии крутящего и изгибающего моментов (рис. 2).



Рисунок 2 – Характер разрушения железобетонных образцов по пространственным сечениям

На стадии нагружения 0,75-0,82Nu появляются трещины (№1-№4) по нормальным сечениям в середине пролета образца. При дальнейшем нагружении происходит образование новых трещин (№5-№14) под углом близким к 45° и раскрытие старых трещин до 0,1 мм и их увеличение по длине.

На стадии нагружения 0,8-0,85Nu наблюдалось появление трещин по стыковому шву бетонов с различными прочностными характеристиками. Однако смещение слоев бетонов относительно друг друга не наблюдалось.

На стадии нагружения 0,8-0,95Nu появляются трещины параллельные предыдущим и увеличиваются по длине и ширине раскрытия до полного разрушения балки.

Разрушение образцов происходило по пространственному сечению по трещинам №№2-9-11-13-7-5 и №№3-10-12-14-8-6.

В результате нагружения статической нагрузкой были получены опытные диаграммы «деформации – нагрузка» (рис. 3, 4).

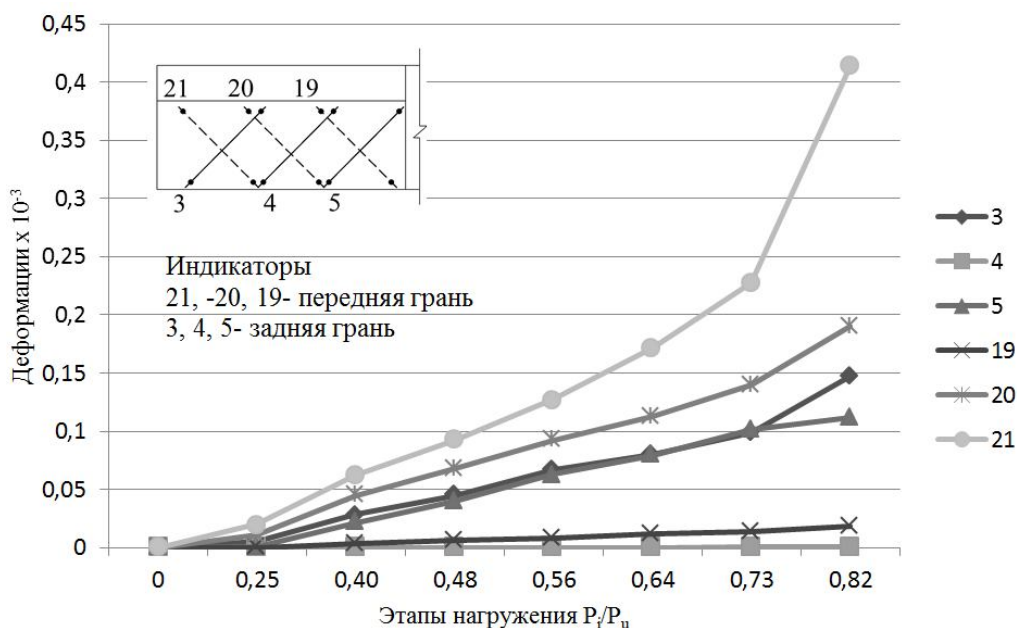


Рисунок 3 – Графики зависимости «деформации – нагрузка» передней грани

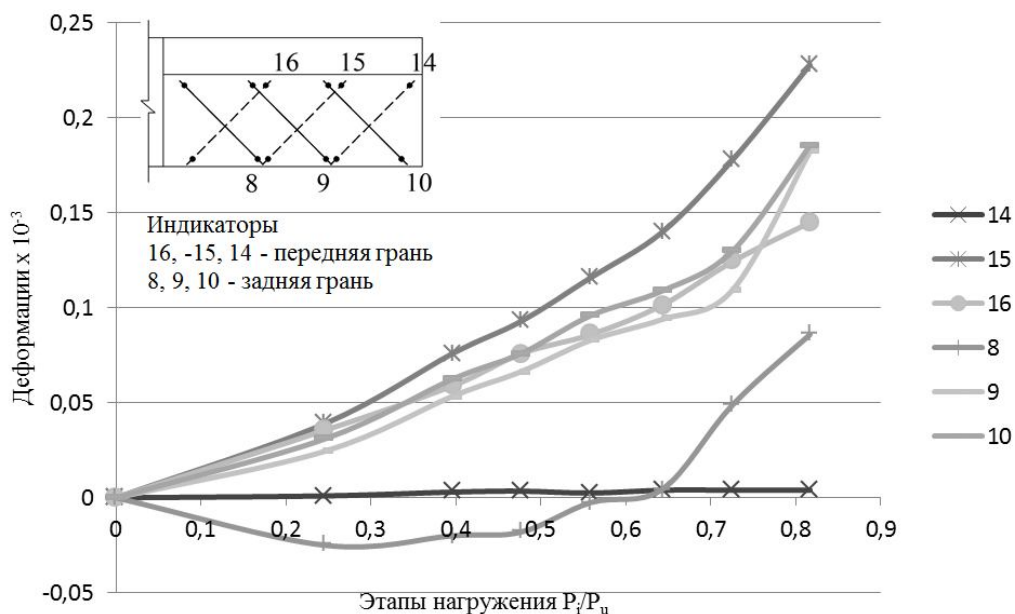


Рисунок 4 – Графики зависимости «деформации – нагрузка» задней грани

Экспериментальные исследования позволили установить механизм разрушения железобетонных элементов составного сечения при изгибе с кручением. Разрушения образцов произошли с образованием спиральной трещины, деформированием поперечных стержней и раздроблением бетона в зоне спиральной трещины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меркулов, С.И. Исследование усиленных железобетонных конструкций [Текст] / С.И. Меркулов, В.М. Дворников, А.И. Татаренков, Д.С. Меркулов / Известия ВУЗов. Строительство. – 2009. – №9. – С. 46-129.

2. Меркулов, Д.С. К выбору расчетной модели силового сопротивления железобетонных элементов при изгибе с кручением [Текст] / Меркулов Д.С. // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – №10. – С. 26-47.

Меркулов Сергей Иванович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Курский государственный университет», г. Курск

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»

E-mail: mersi.dom@yandex.ru

Стародубцев Сергей Владимирович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел

Аспирант

E-mail: 89202614781@mail.ru

MERKULOV S.I., STARODUBTSEV S.V.

**EXPERIMENTAL STUDIES ON COMPOUND
REINFORCED CONCRETE BAR ELEMENTS UNDER
BENDING AND TORSION**

Results of experimental investigations of composite reinforced concrete tee section with prestress reinforcement, working under the joint action circularly tyaschego and bending moment. Experimental values obtained for the distribution of longitudinal strain on the boundary-yum samples, cracking loads, the width of cracks, damaging loads.

Keywords: reinforced concrete structures, composite section, experimental studies, T-section, strain, stress, fracture pattern.

BIBLIOGRAPHY

1. Merkulov, S.I. Issledovanie usilennyh zhelezobetonnyh konstrukcij [Tekst] / S.I. Merkulov, V.M. Dvornikov, A.I. Tatarenkov, D.S. Merkulov / Izvestija VUZov. Stroitel'stvo. – 2009. – №9. – S. 46-129.

2. Merkulov, D.S. K vyboru raschetnoj modeli silovogo soprotivlenija zhelezobetonnyh jelementov pri izgibe s krucheniem [Tekst] / Merkulov D.S. // Gromyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2009. – №10. – S. 26-47.

Merkulov Sergei Ivanovich

Federal state budget institution of higher education «Kursk state university», Kursk

Doctor of technical science, professor, manager of department «Industrial and civil construction»

E-mail: mersi.dom@yandex.ru

Starodubtsev Sergey Vladimirovich

State university – educational-science-production complex, Orel

Post-graduate student

E-mail: 89202614781@mail.ru

НИКУЛИН А.И., СОТНИКОВ Д.Ю.

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ УСИЛЕННЫХ ПОД НАГРУЗКОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С УЧЕТОМ СТАРЕНИЯ БЕТОНА

Предложен модифицированный вариант деформационной модели силового сопротивления железобетона для оценки прочности составных конструкций. Приводятся общие положения к построению такой модели, представлен новый подход к трансформированию диаграмм сжатия и растяжения бетона. Для получения аналитических зависимостей, описывающих диаграммы деформирования бетона при неоднородном сжатии и растяжении, приняты энергетические критерии разрушения бетона при сжатии и растяжении. Выполнен также учет процесса нарастания прочности малонагруженного бетона во времени с использованием теории старения проф. Г.А. Гениева. Приведена методика расчета прочности железобетонных балок, учитывающая наличие в исходном элементе напряженно-деформированного состояния, обусловленного приложенной внешней нагрузкой, а также особенностями работы в составе усиленной конструкции бетонов с различными деформативно-прочностными характеристиками.

Ключевые слова: расчет прочности, деформационная расчетная модель, усиление под нагрузкой, железобетонные балки, трансформирование диаграмм, старение бетона.

В последние годы при реконструкции зданий и сооружений существенно вырос удельный вес составных железобетонных конструкций, образуемых в результате наращивания сечений дополнительным слоем из монолитного железобетона. Как правило, усиление таких конструкций производится под нагрузкой, и, соответственно, их расчет по двум группам предельных состояний не имеет пока надежного нормативного обеспечения [1, 2, 4], что существенно ограничивает возможности рационального проектирования. Поэтому совершенствование методов расчета конструкций, относящихся к классу составных железобетонных балок, с учетом предыстории нагружения, специфики их работы, физической нелинейности и наличия трещин представляется актуальным.

Проводимые в последние годы исследования железобетонных конструкций [2, 3, 4] показывают, что в подавляющем большинстве случаев бетон в них работает в условиях неравномерного распределения деформаций и напряжений, т.е. при неоднородном деформировании. Чтобы установить вид эпюр напряжений в сечении изгибаемого железобетонного элемента применяют различные приемы трансформирования исходных диаграмм, полученных при центральном сжатии и растяжении эталонных бетонных образцов [4]. В данной работе для таких преобразований используются энергетические соотношения [3].

Вначале рассмотрим используемые в расчетной модели исходные (эталонные) диаграммы кратковременного деформирования бетона (рис. 1).

При этом исходим из допущения, что начальные модули упругости бетона при сжатии и растяжении не равны между собой ($E_{b01} \neq E_{bt01}$). В подтверждение этого допущения можно привести, например, работу [6], в которой представлены экспериментальные данные, свидетельствующие об отличии величин модулей E_{b01} и E_{bt01} для одного и того же бетона от 5 до 30%.

Для аналитического описания диаграмм сжатия и растяжения бетона при центральном нагружении используем дробно-рациональную функцию вида:

$$\sigma_i = E_j \varepsilon_i (1 + D_j \varepsilon_i) / (1 + C_j \varepsilon_i), \quad (1)$$

где E_j , D_j , C_j – начальный модуль упругости и параметры нелинейности деформирования бетона, получаемые экспериментально-теоретическим путем ($j=b01$ – для эталонных диаграмм центрального сжатия, $j=bt01$ – то же, растяжения); σ_i , ε_i – текущие значения напряжений и деформаций сжатия ($i=bc$) и растяжения ($i=bt$).

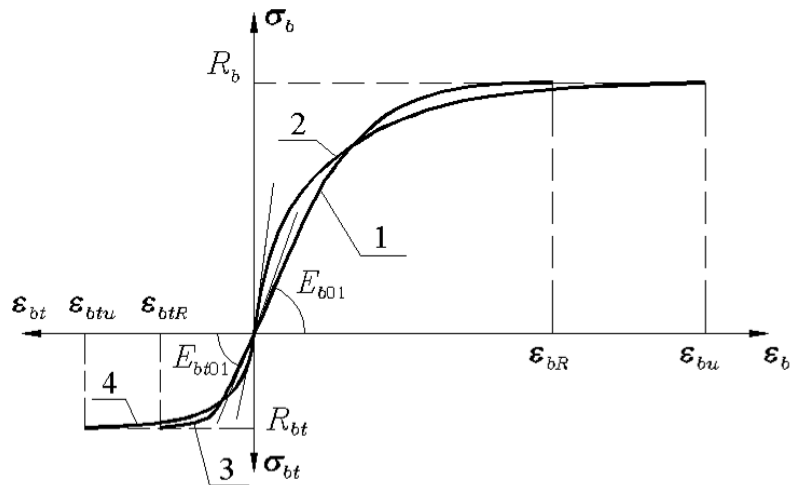


Рисунок 1 – Диаграммы кратковременного деформирования бетона при центральном и неоднородном сжатии (кривые 1 и 2) и растяжении (кривые 3 и 4)

Для нахождения указанных параметров диаграмм центрального сжатия и растяжения бетона используются экспериментальные данные в виде нормативной базы их значений для широкого диапазона применяемых в настоящее время бетонов [1, 2, 4, 6, 7]. К параметрам, определяемым экспериментально в ходе испытания стандартных бетонных образцов в возрасте 28 сут., относятся следующие:

- предельные сопротивления бетона центральному растяжению R_{bt} и сжатию R_b ;
- нормативный модуль упругости бетона при сжатии E_{bn} , величина которого устанавливается при напряжениях $\sigma_b = 0,3R_b$;
- предельные относительные деформации бетона сжатию ε_{bR} и растяжению ε_{btR} .

На основании обобщения данных, представленных в работах [1, 4, 6, 7], для определения двух последних параметров можно рекомендовать следующие эмпирические зависимости:

$$\varepsilon_{bR} = 0,022 \cdot \sqrt[3]{R_b / E_{bn}}; \quad (2)$$

$$\varepsilon_{btR} = 0,4 \cdot (R_{bt} / E_{bn})^{0,86}. \quad (3)$$

Входящий в зависимость (1) начальный модуль упругости E_{b01} отличается от нормативного модуля E_{bn} , который по существу является секущим модулем деформаций бетона при сжатии. Так, для нахождения величины E_{b01} и параметров нелинейности D_{b01} , C_{b01} используются следующие зависимости:

$$E_{b01} = \frac{E_{bn}}{0,7} \left(1 - \frac{0,3R_b}{E_{bn}\varepsilon_{bR}} \left(2 - \frac{R_b}{E_{bn}\varepsilon_{bR}} \right) \right); \quad (4)$$

$$D_{b01} = -R_b / (E_{b01}\varepsilon_{bR}^2); \quad (5)$$

$$C_{b01} = E_{b01} / R_b - 2 / \varepsilon_{bR}. \quad (6)$$

Зависимости для вычисления параметров нелинейности диаграммы центрального растяжения D_{bt01} и C_{bt01} находятся с использованием уравнений, аналогичных (5), (6) с соответствующей заменой индексов принадлежности. При этом начальный модуль упругости при растяжении (в МПа) может быть найден для тяжелых бетонов по рекомендациям работы [6]:

$$E_{bt01} = 0,0064 E_{b01}(R_b + 94). \quad (7)$$

Перейдем теперь к установлению закономерностей изменения деформативно-прочностных характеристик бетона во времени.

Из многочисленных экспериментальных исследований [1, 3, 4] известно, что фактор времени вызывает в бетоне проявление двух характерных разнонаправленных процессов: нарастание прочности во времени, определяемое физико-механическими изменениями структуры бетона (процесс старения), и снижение прочности находящегося в напряженном состоя-

нии бетона, которое обусловлено наличием у него реологических свойств. Однако если величина нагружения изгибаемого железобетонного элемента не создает в сжатой зоне напряжений выше уровня R_{crc}^0 , соответствующего по О.Я. Бергу [4] границе микротрещинообразования бетона, то снижения его прочности практически не происходит. Для такого случая процесс старения бетона можно выполнять на основе предложенной проф. Г.А. Гениевым [3] реологической модели изменения деформационных параметров тяжелого бетона во времени.

Для определения прочности бетона при сжатии в момент приложения внешней разрушающей нагрузки ($t = t_0$) воспользуемся формулой [3]:

$$R_b(t_0) = R_{b,max} \left[1 - \left(1 - R_{b,28} / R_{b,max} \right)^{\frac{t_0}{28}} \right], \quad (8)$$

где t_0 – время (в сутках) с момента начала твердения бетона до момента приложения внешней разрушающей нагрузки; $R_{b,max}$ – максимальная (асимптотическая) прочность ненагруженного (малонагруженного) бетона при $t_0 \rightarrow \infty$; $R_{b,28}$ – прочность бетона в возрасте 28 суток.

Максимальную прочность ненагруженного бетона при кратковременном сжатии определяем с учетом рекомендаций, приведенных в Еврокоде-2 [1]:

$$R_{b,max} = \beta_m \cdot R_{b,28}, \quad (9)$$

где предельные значения коэффициентов нарастания прочности бетона зависят от вида цемента и для нормальных условий твердения могут приниматься: $\beta_m = 1,221$ – для быстротвердеющего высокомарочного цемента; $\beta_m = 1,284$ – для нормального и быстротвердеющего цемента; $\beta_m = 1,462$ – для медленнотвердеющего цемента.

Далее воспользуемся рекомендациями Еврокода-2 [1], чтобы установить зависимость нормативного модуля упругости бетона при сжатии, нагруженного кратковременной нагрузкой в возрасте t_0 :

$$E_{bn}(t_0) = E_{bn,28} [R_b(t_0) / R_{b,28}]^{0,3}, \quad (10)$$

где $E_{bn,28}$ – нормативный модуль упругости бетона при сжатии в возрасте 28 сут.

Теперь с использованием полученных величин $R_b(t_0)$ и $E_{bn}(t_0)$ по формулам (2), (4)...(6) можно найти остальные параметры ($\varepsilon_{bR}(t_0)$, $E_{b01}(t_0)$, $D_{b01}(t_0)$, $C_{b01}(t_0)$), необходимые для описания диаграммы центрального сжатия бетона, испытанного в возрасте t_0 .

Вычисление соответствующих параметров для описания нелинейной диаграммы центрального растяжения бетона в возрасте t_0 начинаем с параметра β_{tm} , который по аналогии с β_m представляет собой предельное значение коэффициента нарастания прочности бетона при растяжении. Согласно рекомендациям Еврокода-2 [1] этот параметр может быть рассчитан по следующей формуле:

$$\beta_{tm} = (\beta_m)^{2/3}. \quad (11)$$

Следовательно, предельные значения коэффициентов нарастания прочности бетона при растяжении могут приниматься: $\beta_{tm} = 1,143$ – для быстротвердеющего высокомарочного цемента; $\beta_{tm} = 1,181$ – для нормального и быстротвердеющего цемента; $\beta_{tm} = 1,288$ – для медленнотвердеющего цемента.

Дальнейшее нахождение параметров для описания нелинейной диаграммы центрального растяжения бетона в возрасте t_0 производится путем последовательного применения уравнений (5), (6) с учетом замены индексов принадлежности и по рекомендациям работы [3].

Для какого-либо определенного возраста нагружения железобетонного элемента ($t_0 \neq 28$ сут.) диаграммы деформирования бетона при неоднородном сжатии и растяжении можно найти на основе энергетического подхода к трансформированию исходных диаграмм [3], полученных на стандартных бетонных образцах в этом же возрасте. Для аналитического описания искомых диаграмм (рис. 2) принята функция, аналогичная (1) с учетом замены индексов ($b02$ вместо $b01$ – для диаграмм неоднородного сжатия бетона; $bt02$ вместо $bt01$ – то же, растяжения).

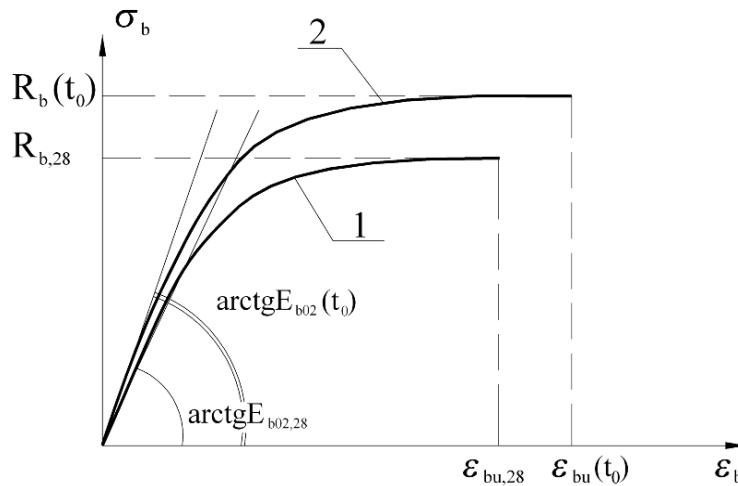


Рисунок 2 – Диаграммы деформирования бетона при неоднородном сжатии в возрасте 28 сут. (кривая 1) и в возрасте $t_0 > 28$ сут. (кривая 2)

Для определения неизвестных параметров диаграммы деформирования бетона при неоднородном сжатии (E_{b02} , D_{b02} , C_{b02}) и соответствующей величины предельной относительной деформации (ϵ_{bu}) приняты следующие гипотезы и допущения:

- для предельной стадии деформирования бетона при неоднородном сжатии (что соответствует сжатой зоне сечения элемента на этапе истощения его прочности по нормальному сечению) деформация волокна, проходящего через центр тяжести эпюры сжимающих напряжений, равна предельной деформации бетона при центральном сжатии ϵ_{bR} ;
- критерием истощения прочности нормального сечения изгибаемого железобетонного элемента является достижение фибровым волокном сжатой зоны этого элемента предельной величины относительной деформации ϵ_{bu} с одновременным истощением сопротивления бетона сжатию R_b ;
- предельное значение удельной энергии деформирования бетона при неоднородном сжатии равно удельной энергии, накапливаемой в сечении центрально сжатого бетонного образца непосредственно перед его разрушением.

Аналитическое отображение принятых гипотез приводит к системе уравнений, в результате решения которой находятся искомые характеристики диаграммы неоднородного сжатия бетона (E_{b02} , C_{b02} , D_{b02} , ϵ_{bu}).

Для определения неизвестных параметров диаграммы бетона при неоднородном растяжении (E_{bt02} , C_{bt02} , D_{bt02} , ϵ_{btu}) принимаются гипотезы, идентичные выше перечисленным, и решается аналогичная система уравнений.

Для описания диаграмм деформирования арматуры воспользуемся рекомендуемой в работе [5] методикой представления зависимости « $\sigma - \epsilon$ » кусочной функцией, состоящей из одного линейного и нескольких нелинейных сплайн-уравнений.

При построении деформационной расчетной модели для определения несущей способности изгибаемых железобетонных элементов после их усиления наращиванием сечения используем традиционные уравнения равновесия, условия совместности деформаций и диаграммы деформирования бетона и арматуры. При этом учитываем разный возраст бетонов исходного и дополнительного элементов. Принимаем также следующие допущения: гипотеза Бернулли о плоском распределении деформаций выполняется в отдельности для исходного и дополнительного сечений изгибаемого железобетонного элемента после его усиления; составной элемент работает как единая конструкция без сдвига по шву между слоями на всех этапах деформирования вплоть до разрушения по нормальному сечению.

Для определения несущей способности изгибаемого усиленного элемента необходимо предварительно найти основные параметры напряженно-деформированного состояния исходного железобетонного элемента при заданной величине действующей на него нагрузки.

Для определенности рассмотрим расчетную схему поперечного сечения изгибаемого железобетонного элемента до его усиления с учетом процесса трещинообразования в растянутой зоне бетона (рис. 3).

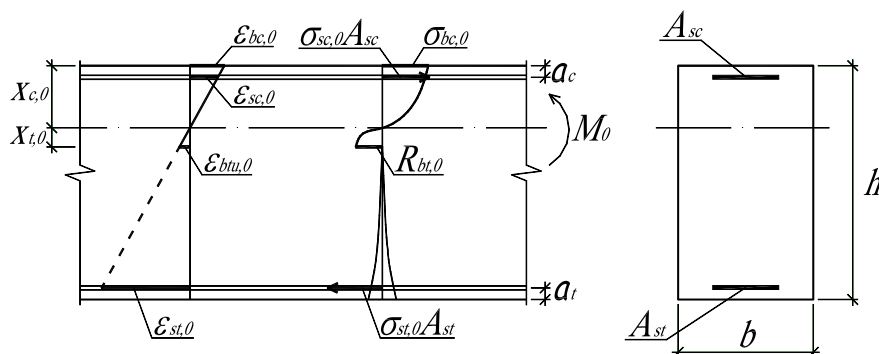


Рисунок 3 – Схема распределения деформаций, напряжений и усилий в нормальном сечении изгибаемого железобетонного элемента до его усиления с учетом процесса трещинообразования

Уравнения равновесия в традиционной форме их записи имеют вид:

$$bx_{c,0}\omega_{c,0}\sigma_{bc,0} + \sigma_{sc,0}A_{sc} - bx_{t,0}\omega_{t,0}R_{bt,0} - \sigma_{st,0}A_{st} = 0; \quad (15)$$

$$M_0 = bx_{c,0}^2\omega_{c,0}\sigma_{bc,0}(1-\gamma_{c,0}) + \sigma_{sc,0}A_{sc}(x_{c,0} - a_c) + bx_{t,0}^2\omega_{t,0}R_{bt,0}(1-\gamma_{t,0}) + \sigma_{st,0}A_{st}(h - x_{c,0} - a_t), \quad (16)$$

где M_0 – заданный изгибающий момент от действующей на исходный элемент нагрузки; $\sigma_{bc,0}$, $\sigma_{sc,0}$, $\sigma_{st,0}$ – величины напряжений, соответственно, в крайнем волокне сжатой зоны бетона, в сжатой и растянутой арматуре; $\omega_{c,0}$, $\omega_{t,0}$, $\gamma_{c,0}$, $\gamma_{t,0}$ – интегральные геометрические характеристики эпюр напряжений в сжатой и растянутой зонах бетона, которые находятся по формулам:

$$\omega_{j,0} = \frac{\int_0^{x_{j,0}} \sigma_{bz} dz}{\sigma_{bj,0} x_{j,0}}, \quad \gamma_{j,0} = \frac{\int_0^{x_{j,0}} \sigma_{bz} z dz}{x_{j,0} \int_0^{x_{j,0}} \sigma_{bz} dz}. \quad (j = c, t). \quad (17)$$

Для исходного железобетонного элемента справедливы следующие условия совместности деформаций:

$$\frac{\epsilon_{btu,0}}{x_{t,0}} = \frac{\epsilon_{bc,0}}{x_{c,0}}, \quad \frac{\epsilon_{st,0}}{\epsilon_{bc,0}} = \frac{h - a_t}{x_{c,0}} - 1, \quad \frac{\epsilon_{sc,0}}{\epsilon_{bc,0}} = 1 - \frac{a_c}{x_{c,0}}. \quad (18)$$

Величина напряжения $\sigma_{bc,0}$ определяется по зависимости (1). Напряжения в сжатой и растянутой арматуре $\sigma_{sc,0}$, $\sigma_{st,0}$ находятся с помощью кусочной функции, рекомендуемой в работе [5].

В результате решения полученной системы уравнений определяются искомые параметры напряженно-деформированного состояния исходного железобетонного элемента возраста t_0 .

Далее находится прочность нормального сечения усиленного под нагрузкой изгибаемого железобетонного элемента. При этом будем учитывать, что исчерпание прочности такого элемента может произойти как по сжатой зоне бетона усиления, так и по исходному бетону. Это зависит от толщины слоя усиления, его армирования, уровня напряженно-деформированного состояния исходного элемента, от деформативно-прочностных характеристик «нового» и «старого» бетонов и от многих других влияющих факторов.

Расчетная схема поперечного сечения усиленного без разгрузки железобетонного элемента для случая исчерпания прочности по сжатой зоне «старого» бетона представлена на рисунке 4.

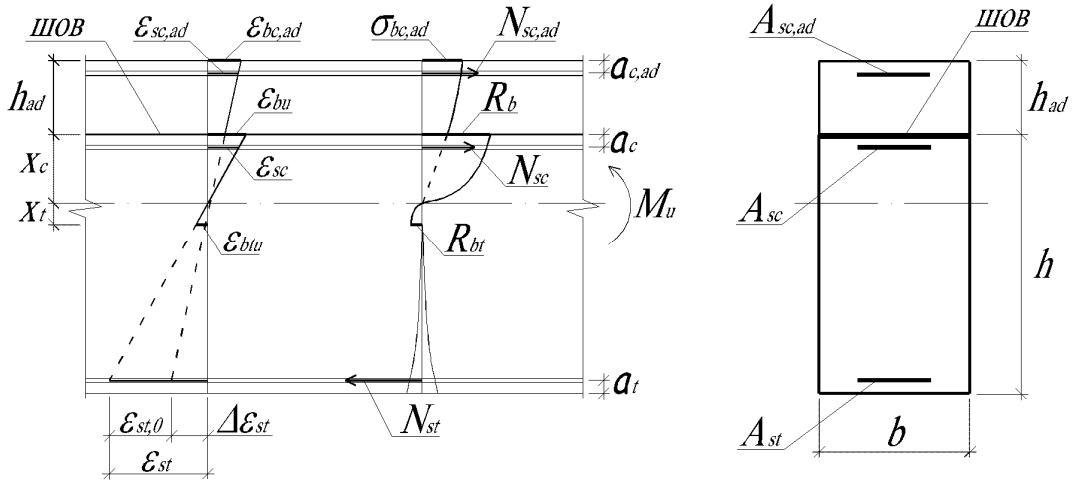


Рисунок 4 – Схема распределения деформаций, напряжений и усилий в нормальном сечении изгибаемого железобетонного элемента после его усиления под нагрузкой

Уравнения равновесия имеют следующий вид:

$$bh_{ad}\omega_{c,ad}\sigma_{bc,ad} + bx_c\omega_c R_b + \sigma_{sc,ad}A_{sc,ad} + \sigma_{sc}A_{sc} - bx_t\omega_t R_{bt} - \sigma_{st}A_{st} = 0, \quad (19)$$

$$M_u = bh_{ad}\omega_{c,ad}\sigma_{bc,ad}(x_c + h_{ad}(1 - \gamma_{c,ad})) + bx_c^2\omega_c R_b(1 - \gamma_c) + \sigma_{sc,ad}A_{sc,ad}(x_c + h_{ad} - a_{c,ad}) + \sigma_{sc}A_{sc}(x_c - a_c) + bx_t^2\omega_t R_{bt}(1 - \gamma_t) + \sigma_{st}A_{st}(h - x_c - a_t), \quad (20)$$

где M_u – предельный изгибающий момент, воспринимаемый усиленным сечением элемента; $\sigma_{bc,ad}$, $\sigma_{sc,ad}$, σ_{sc} , σ_{st} – величины напряжений в бетоне и арматуре; $\omega_{c,ad}$, ω_c , ω_t , $\gamma_{c,ad}$, γ_c , γ_t – интегральные геометрические характеристики эпюр напряжений в сжатой и растянутой зонах бетона, которые находятся по формулам (17).

Условия совместности деформаций рассматриваются отдельно для исходной части сечения и дополнительного слоя железобетонного элемента:

$$\frac{\varepsilon_{btu}}{x_t} = \frac{\varepsilon_{bu}}{x_c}, \quad \frac{\varepsilon_{st}}{\varepsilon_{bu}} = \frac{h - a_t}{x_c} - 1, \quad \frac{\varepsilon_{sc}}{\varepsilon_{bu}} = 1 - \frac{a_c}{x_c}; \quad (21)$$

$$\frac{\varepsilon_{sc,ad}}{\varepsilon_{bc,ad}} = \frac{x_c + h_{ad} - a_{c,ad}}{x_c + h_{ad}}. \quad (22)$$

Чтобы учесть имеющееся в исходном элементе напряженно-деформированное состояние, а также для обеспечения неразрывности деформирования получаемого после усиления составного элемента используем следующие дополнительные условия:

$$\frac{\varepsilon_{bc,ad}}{\Delta\varepsilon_{st}} = \frac{x_c + h_{ad}}{h - x_c - a_t}; \quad (23)$$

$$\varepsilon_{st} = \varepsilon_{st,0} + \Delta\varepsilon_{st}. \quad (24)$$

Величина напряжения в крайнем сжатом волокне дополнительного слоя бетона $\sigma_{bc,ad}$ определяется по зависимости (1). Напряжения в арматуре $\sigma_{sc,ad}$, σ_{sc} , σ_{st} находятся с помощью кусочной функции, рекомендуемой в работе [5].

Таким образом, построена система разрешающих уравнений для определения прочности изгибаемого железобетонного элемента, усиленного под нагрузкой.

Выводы

Поскольку представленная методика расчета прочности усиленных под нагрузкой железобетонных балок с учетом одновременных процессов старения исходного и дополнительного бетонов построена без привлечения эмпирических зависимостей, то можно говорить о

возможности ее применения для прочностных расчетов изгибаемых железобетонных элементов в случае их кратковременного нагружения до разрушения при любых видах тяжелых бетонов и арматуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алмазов, В.О. Проектирование железобетонных конструкций по Евронормам [Текст] / В.О. Алмазов. – М.: АСВ, 2007. – 216 с.
2. Бондаренко, В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко, Вл.И. Колчунов. – М.: АСВ, 2004. – 472 с.
3. Гениев, Г.А. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях [Текст] / Г.А.Гениев, В.И. Колчунов, Н.В. Клюева [и др.]. – М.: АСВ, 2004. – 216 с.
4. Карпенко, Н.И. Общие модели механики железобетона [Текст] / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
5. Мадатян, С.А. Арматура железобетонных конструкций [Текст] / С.А. Мадатян. – М.: Воентехлит, 2000. – 256 с.
6. Несветаев, Г.В. К созданию нормативной базы деформаций бетона при осевом нагружении [Текст] / Г.В. Несветаев // Известия вузов. Строительство. – 1996. – №8. – С. 122-124.
7. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры [Текст] / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2005. – 54 с.

Никулин Александр Иванович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Городское строительство и хозяйство»
Тел.: +7 (4862) 73-43-65
E-mail: gsh@ostu.ru

Сотников Дмитрий Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Старший преподаватель кафедры «Городское строительство и хозяйство»
Тел.: +7 (4862) 73-43-65
E-mail: gsh@ostu.ru

NIKULIN A.I., SOTNIKOV D.Y.

STRENGTH CALCULATION OF FLEXIBLE REINFORCED CONCRETE BEAMS UNDER LOAD WITH THE PERFORMING A CONSIDERATION OF THE AGING PROCESS IN CONCRETE

Proposed a modified version of the deformation model of the power of resistance of reinforced concrete to evaluate the strength of composite structures. Contains the General provisions in the construction of this model is presented a new approach to transform diagrams of compression and extension of concrete. To obtain the analytical dependences describing diagrams deformation of concrete at a non-uniform compression and tension, adopted energy criteria for the destruction of concrete compression and tension. There is also performed a consideration of the durability increase process in non-loaded concrete in the course of time with the use Prof. G.A. Geniev's aging theory. Method of determination of strength of reinforced concrete beams, taking into account the presence in the source element of the stress-strain state, caused by the applied external activity, as well as the peculiarities of the work as part of a reinforced concrete construction with a variety of deformability and strength characteristics.

Keywords: calculation of strength, deformation calculation model, strengthening under load, reinforced concrete beams, the transformation of the charts, the aging of the concrete.

BIBLIOGRAPHY

1. Almazov, V.O. Proektirovanie zhelezobetonnyh konstrukcij po Evronormam [Tekst] / V.O. Almazov. – M.: ASV, 2007. – 216 s.
2. Bondarenko, V.M. Raschetnye modeli silovogo soprotivlenija zhelezobetona [Tekst] / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov. – M.: ASV, 2004. – 472 s.
3. Geniev, G.A. Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnyh konstrukcij pri zaproektnyh vozdeystvijah [Tekst] / G.A. Geniev, V.I. Kolchunov, N.V. Kljueva [i dr.]. – M.: ASV, 2004. – 216 s.
4. Karpenko, N.I. Obvie modeli mehaniki zhelezobetona [Tekst] / N.I. Karpenko. – M.: Strojizdat, 1996. – 416 s.
5. Madatjan, S.A. Armatura zhelezobetonnyh konstrukcij [Tekst] / S.A. Madatjan. – M.: Voentehlit, 2000. – 256 s.
6. Nesvetaev, G.V. K sozdaniju normativnoj bazy deformatsij betona pri osevom nagruzenii [Tekst] / G.V. Nesvetaev // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. – 1996. – №8. – S. 122-124.
7. SP 52-101-2003. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii bez predvaritel'nogo naprjazhenija armatury [Tekst] / Gosstroj Rossii. – M.: FGUP CPP, 2005. – 54 s.

Nikulin Aleksandr Ivanovich

State University – educational-science-production complex, Orel

Candidate of technical sciences, associate professor, head of department «City construction and economy»

Ph.: +7 (4862) 73-43-65

E-mail: gsh@ostu.ru

Sotnikov Dmitrij Yur'evich

State University – educational-science-production complex, Orel

Senior teacher of department «City construction and economy»

Ph.: +7 (4862) 73-43-65

E-mail: gsh@ostu.ru

РЫТОВ С.А., ВИШНЯКОВ Ю.В., БАБАЕВ В.Н.

ЗАКРЕПЛЕНИЕ КИРПИЧНЫХ СТЕН СТАЛЬНЫМИ ТЯЖАМИ

Приведено описание конструкций закрепления кирпичных стен тяжами, отличающихся простотой и надежностью и позволяющих эффективно решать задачи по обеспечению сохранности стен существующих зданий, при строительстве новых зданий и сооружений, особенно в условиях плотной городской застройки. Дано подробное описание технологии их устройства.

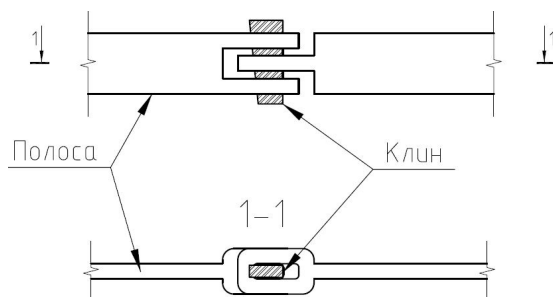
Ключевые слова: тяжи, усиление, кирпичная стена, эксплуатация.

В процессе строительства и эксплуатации зданий в кирпичных стенах часто возникают трещины. Трещины разделяют стены на отдельные участки, которые взаимно смещаются. Смещение стен на несколько сантиметров приводит к повреждению опорных зон перекрытий, а иногда к их последующему обрушению.

Одной из основных причин раскрытия трещин являются неравномерные осадки зданий. Прочие воздействия, например, ударные воздействия, вибрация, температурно-влажностные воздействия и другие в меньшей степени повреждают стены зданий. Однако в совокупности с осадками воздействие их на стены и раскрытие трещин существенно возрастает.

Для борьбы с образованием и раскрытием трещин в стенах эффективным средством являются связи, уложенные в кладку при строительстве (арматурные пояса) или при эксплуатации (тяжи). Эти связи препятствуют смещению стен в горизонтальной плоскости.

Эффективность таких связей была известна строителям и в старину, например, при вскрытии кладки стен Алексеевского зала в Московском кремле (XV век) был обнаружен уложенный горизонтально железный пояс (рис. 1). Этот пояс был собран из отдельных полос, соединенных последовательно с помощью хомутов. Хомуты смежных полос накладывались друг на друга, и в отверстие забивался железный клин. При забивке клиньев пояс напрягался, что обеспечивало ему плотную посадку.



**Рисунок 1 – Соединение полос железного пояса в кладке стены
Алексеевского зала Московского кремля**

С появлением стального проката во второй половине XIX века в качестве тяжелой стали широко использовать швеллеры и двутавры. В настоящее время для устройства напрягаемых тяжей используют следующие материалы: арматурные стержни диаметром 20-38 мм; шпильки, гайки и шайбы; стальной лист толщиной 10-20 мм; уголки равнополочные \perp 63-70 мм и \perp 125-140 мм; при устройстве мощных поясов – швеллера №16-22. Сечение стержней и прочность узлов подбирается по величине действующих усилий, определяемых расчетом здания на совокупность воздействий.

В ранее опубликованных рекомендациях [1, 2] уделено недостаточно внимания описанию конструкций тяжей и узлов закрепления их к стенам. Поэтому данная статья ориентирована на более подробное описание конструкций узлов закрепления и технологии работ.

На рисунке 2 показаны основные узлы закрепления тяжей к наружным и внутренним стенам. Закрепление к внутренним стенам целесообразно выполнять с помощью шпилек, а к наружным во избежание «мостиков холода» с помощью анкеров.

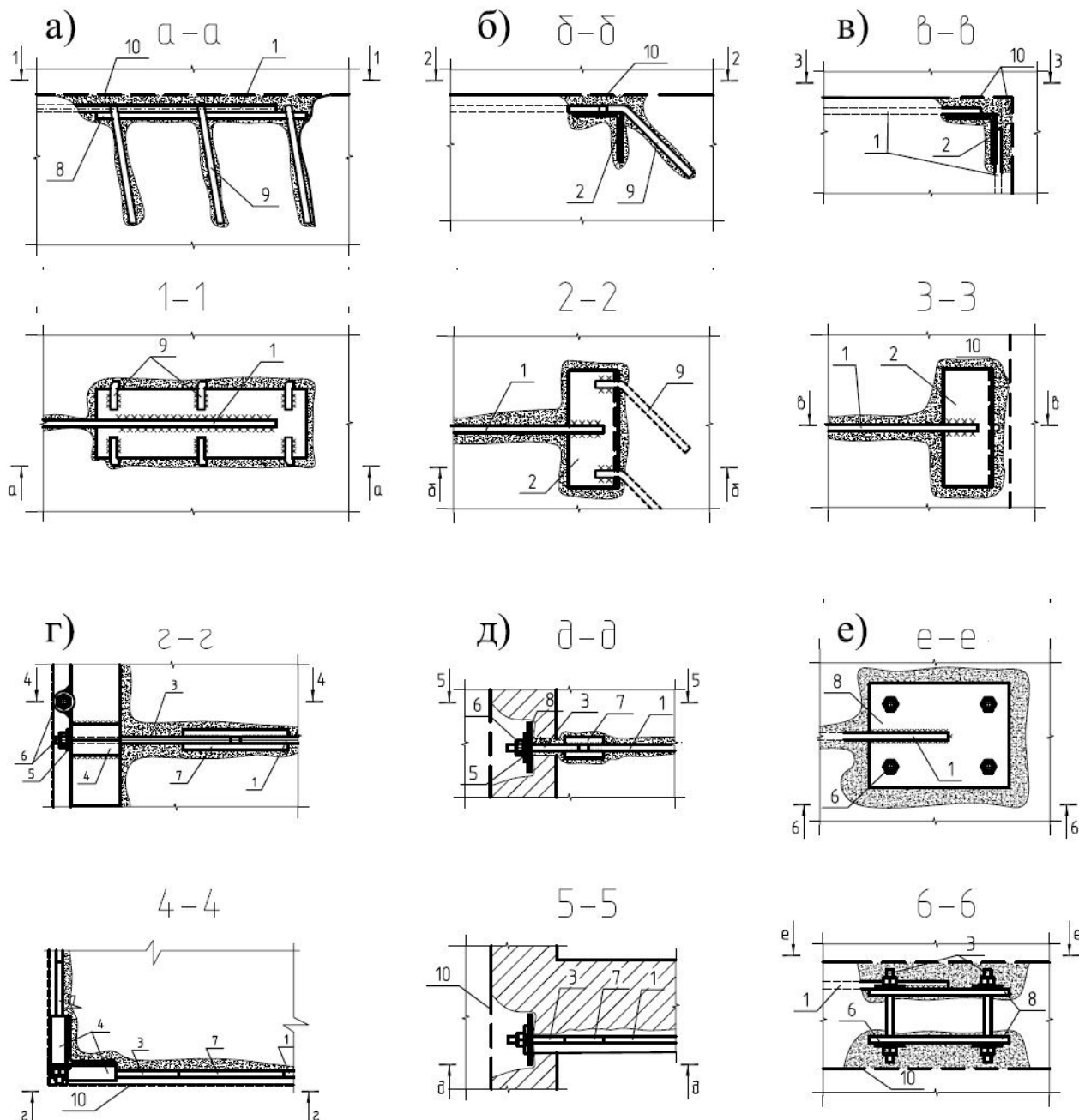


Рисунок 2 – Конструкции узлов для закрытой укладки тяжей:
а – в произвольной точке наружной стены на анкерах; б – то же с использованием опорного уголка; в – на углу здания без натяжения; г – то же на углу с натяжением; д – на пересечении стен; е – на поверхности внутренней стены
 Обозначено: 1 – стержень тяжя; 2 – опорный уголок; 3 – шпилька;
 4 – уголок натяжного устройства; 5 – шайба; 6 – гайка; 7 – накладка узла скрепления стержней, тяжей; 8 – опорная плита; 9 – анкер; 10 – поверхность стены

Укладку тяжей следует выполнять в уровне перекрытий. Она может быть открытой и закрытой. Открытая укладка делается по поверхности стен. При закрытой укладке тяжи устанавливаются в штрабах (бороздах). Сечение штрабы, например, для укладки одного стержня, делается равным 7×8 см (один ряд кладки по высоте). Под швеллер №16 сечение штрабы увеличивается до 12×22 см (три ряда кладки по высоте).

Устройство тяжей начинается с разметки трасс тяжей и узлов. Вырезаются штрабы для тяжей и гнезда для узлов, монтируются узлы и тяжи.

Обычно постановка тяжей совмещается с мероприятиями по устранению трещин, выполненным путем инъекции цементного раствора в их полости. Одновременно делается установка и омоноличивание скважин анкеров закрепления узлов.

После сборки системы производится ее натяжение до расчетного значения усилий, например, в 3-4 этапа. Усилие натяжения контролируется при помощи динамометрического ключа. Последний этап натяжения выполняется после выдержки тяжей под расчетным усилием в течение одних-трех суток.

Слабым звеном в конструкциях узлов закрепления тяжей к стенам является шпилька из-за ее обрыва или среза резьбы. Для укрепления узла следует после натяжения системы поставить параллельно шпильке две накладки (рис. 3). Система станет более жесткой и прочной. Повысится величина усилия образования новых трещин ($N_{тр}$) и снизится дополнительное раскрытие существующих трещин (рис. 4).

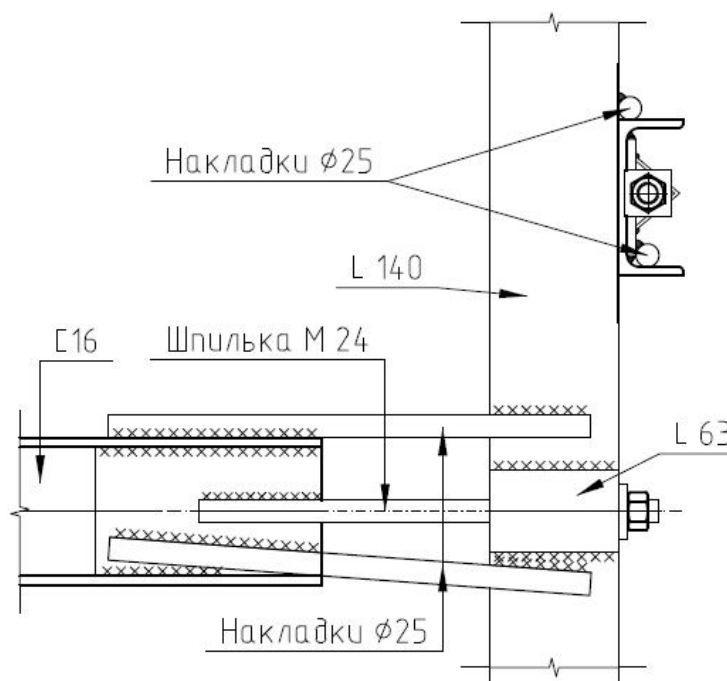


Рисунок 3 – Пример постановки накладок усиления

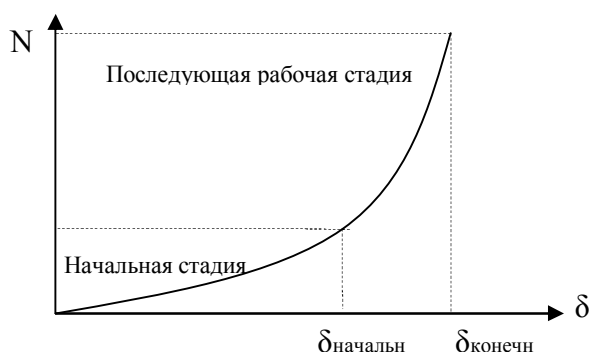


Рисунок 4 – Стадии работы узла при натяжении системы и при дальнейшем нагружении

В случае рыхлого основания под опорной плитой узла следует привести цементацию пустошевки кладки или увеличить размер опорной пластины и количество анкеров.

По окончании натяжения последней операцией является защита тяжей и узлов от коррозии. При открытой укладке тяжей производится покраска их за два раза. При укладке тяжей в штрабы роль защиты выполняет цементно-песчаный раствор заделки. Защиту от коррозии можно усилить, покрасив металлические детали перед заделкой раствором. При закрытой укладке тяжей не видно ни следов повреждений, ни трещин, ни самих тяжей. Поэтому для последующей длительной эксплуатации предпочтительна закрытая укладка.

Открытую постановку тяжей целесообразно использовать как временную, например, на период устройства поблизости котлована.

Возможен и смешанный вариант производства работ, когда тяжести укладываются в штрабы и натягиваются, а после окончания негативного воздействия, например, от котлована, выполняется инъекция полостей трещин, подтяжка тяжей, заделка штраб и гнезд.

Отметим, что описанная здесь конструкция закрепления стен тяжами и технология их устройства отличается простотой и надежностью. Материалы для изготовления: стержни, уголки, стальной лист, шпильки, гайки, швеллера продаются почти на каждом строительном рынке. При необходимости система может быть усилена постановкой накладок в узлах.

Выводы

Предлагаемые конструкции усиления напрягаемыми стальными тяжами позволяют эффективно решать задачи обеспечения сохранности стен существующих зданий при строительстве новых зданий и сооружений, особенно в условиях плотной городской застройки. Кроме того, напрягаемые стальные тяжести повышают трещиностойкость и жесткость сооружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений [Текст]. – М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, Стройиздат, 1984.
2. Методические рекомендации по усилению каменных конструкций [Текст] – Киев: НИИ строительного производства, 1985.

Рытов Сергей Александрович

Кандидат технических наук, главный инженер ООО «СКИФ»
E-mail: lab38@mail.ru

Вишняков Юрий Владимирович

Кандидат технических наук, научный консультант ООО «СКИФ»
E-mail: lab38@mail.ru

Бабаев Владислав Николаевич

Инженер
E-mail: lab38@mail.ru

RYTOV S.A., VISHNYAKOV Y.V., BABAYEV V.N.

BRICK WALL FIXATION WITH TENSION BARS

The work presents a description of brick wall fixed with tension bars showing simplicity and reliability of such joints and giving effective solutions to the problems concerning the maintenance of

walls of existing buildings and the construction of new buildings and structures, especially in dense urban areas. Detailed description of technology and structure of such joints is also presented.

Keywords: *tension bars, strengthening of structures, brick wall, operation of structures.*

BIBLIOGRAPHY

1. Rekomendacii po usileniju kamennyh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij [Tekst]. – M.: CNIISK im. Kucherenko, Strojizdat, 1984.
2. Metodicheskie rekomendacii po usileniju kamennyh konstrukcij [Tekst] – Kiev, NII stroitel'nogo proizvodstva, 1985.

Rytov Sergey Aleksandrovich

Candidate of technical sciences, chief engineer of JSC SKIF
E-mail: lab38@mail.ru

Vishnyakov Yury Vladimirovich

Candidate of technical sciences, scientific adviser of JSC SKIF
E-mail: lab38@mail.ru

Babayev Vladislav Nikolaevich

Engineer
E-mail: lab38@mail.ru

СМОЛЯГО Г.А., КРЮЧКОВ А.А., ДРОНОВА А.В.,
ДРОКИН С.В.

К РАСЧЕТУ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СОСТАВНОГО СЕЧЕНИЯ ИЗ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Предложен подход к анализу напряженно-деформированного состояния изгибаемых элементов, который позволяет в полной мере проследить работу конструкций вплоть до разрушения. На основе сравнительного анализа экспериментальных и теоретических данных по несущей способности и деформативности обосновано предложение по учету работы растянутой зоны в виде степенного полинома в расчетах изгибаемых элементов составного сечения из керамзитобетона.

Ключевые слова: *изгибаемые элементы, растянутая зона бетона, керамзитобетон.*

Общеизвестно, что в расчете по действующим нормам проектирования принята жесткопластическая схема работы бетона на растяжение, при этом на начальной стадии трещинообразования при нормативном расчете жесткости нормативная кривая имеет в точке трещинообразования разрыв, причем жесткость при средних и больших коэффициентах армирования превышает упругую жесткость для целого сечения [6].

Этих недостатков лишена модель железобетона как квазиоднородного сплошного тела, предложенная А.Б. Голышевым и В.Я. Бачинским [1]. Согласно ей бетон до и после образования трещин рассматривается как сплошное тело, что позволяет устранить разрывность функции жесткости при трещинообразовании и учесть эффект «внутренней неустойчивости», заключающийся в том, что в начальный период стадии трещинообразования для сечения с малым процентом армирования характерно наличие зоны многозначности функции «момент-кривизна» (одному значению момента соответствует несколько значений кривизны). Впервые данный эффект отметил Ж. Оладапо [7] для армированной балки из идеального упруго-хрупкого материала. Эффект внутренней неустойчивости позволяет объяснить, почему в момент образования трещин они вырастают сразу на значительную величину.

Рассмотрение работы бетона с единых физических позиций с целью устранения разрывной функции жесткости при трещинообразовании предложено также в работах В.М. Бондаренко, Б.С. Расторгуева и др.

С учетом того, что работа легких бетонов на пористых заполнителях, в частности керамзитобетона, обусловлена перераспределением напряжений между компонентами бетона, что значительно влияет на его деформативность и трещиностойкость, то описанный выше эффект проявляется для данного типа бетонов в большей степени. Также, по мнению [3], «пористые заполнители обуславливают повышенную растяжимость и деформативность легкого бетона, а также лучшее сцепление с цементным камнем, способствуют уменьшению макро- и микроструктурных напряжений и резкому снижению возможности образования трещин».

Связь между напряженно-деформированным состоянием сечения и внешними усилиями запишем в виде уравнений:

$$\int_A \sigma_b dA_b + \sum_{j=1}^m \sigma_{sj} A_{sj} = 0; \quad (1)$$

$$\int_A \sigma_b z dA_b + \sum_{j=1}^m \sigma_{sj} y_{sj} A_{sj} - M = 0, \quad (2)$$

где σ_b – напряжения в элементарной площадке в бетоне площадью dA_b , расположенной на расстоянии, равном z от нижней грани сечения; σ_{sj} , A_{sj} и y_{sj} – напряжения в j -ом арматур-

ном стержне, площадь его поперечного сечения и расстояние от нижней грани сечения конструкции до центра тяжести указанной площади; M – внешний изгибающий момент.

Наиболее удобной зависимостью для описания реальной диаграммы « $\sigma_b - \varepsilon_b$ » представляется зависимость в виде степенного полинома k -той степени:

$$\sigma_b = R_b \sum_{k=1}^n a_k \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{bR}} \right)^k, \quad (3)$$

где a_k – некоторые коэффициенты.

Данной зависимостью можно описать с достаточной точностью практически любую экспериментальную диаграмму состояния бетона как на сжатие, так и на растяжение, и она удобно описывается оператором цикла при расчете на ЭВМ, что позволяет без изменения текста программы использовать в расчете полиномы различных порядков.

Подставив (3) в уравнения (1) и (2), получим систему уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние сечения, работающего без трещин:

$$\frac{\beta_i}{\aleph h} \left(R_{b,i} \sum_{k=1}^l \frac{a_{k,i}}{k_i + 1} \left(\frac{\varepsilon_1^{k_i+1} - \varepsilon_0^{k_i+1}}{\varepsilon_{b,Ri}^{k_i}} \right) + R_{bt,i} \sum_{p=1}^z \frac{b_{p,i}}{p_i + 1} \left(\frac{\varepsilon_0^{p_i+1} - \varepsilon_2^{p_i+1}}{\varepsilon_{bt,Ri}^{p_i}} \right) \right) + \sum_{j=1}^m \mu_{ji} \sigma_{sj} = 0; \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\beta_i}{\aleph^2 h^2} \left(R_{b,i} \sum_{k=1}^l \left(\frac{a_{k,i}}{k_i + 2} \left(\frac{\varepsilon_0^{k_i+2} - \varepsilon_2^{k_i+2}}{\varepsilon_{b,Ri}^{k_i}} \right) - \varepsilon_2 \frac{a_{k,i}}{k_i + 1} \left(\frac{\varepsilon_0^{k_i+1} - \varepsilon_2^{k_i+1}}{\varepsilon_{b,Ri}^{k_i}} \right) \right) + \right. \\ & \left. + R_{bt,i} \sum_{p=1}^z \left(\frac{b_{p,i}}{p_i + 2} \left(\frac{\varepsilon_0^{p_i+2} - \varepsilon_2^{p_i+2}}{\varepsilon_{bt,Ri}^{p_i}} \right) - \varepsilon_2 \frac{b_{p,i}}{p_i + 1} \left(\frac{\varepsilon_0^{p_i+1} - \varepsilon_2^{p_i+1}}{\varepsilon_{bt,Ri}^{p_i}} \right) \right) \right) + \sum_{j=1}^m \mu_{sj} \sigma_{sj} \xi_{sj} - m = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Для учета постепенного снижения усилия, воспринимаемого бетоном растянутой зоны за счет развития трещин, вводится коэффициент ψ_{bt} . Растянутая зона бетона после напряжений $\sigma = R_{bt}$ (появления трещин) представляется в виде прямоугольника с ординатами $R_{bt} \psi_{bt}$. В основу подхода по определению параметра ψ_{bt} положена физическая модель [4], в соответствии с которой раскрытие трещин рассматривается как накопление относительных взаимных смещений арматуры и бетона на участках сцепления, расположенных по обе стороны от трещин. После опускаемых преобразований находим:

$$\psi_{bt} = \frac{0,8 \varepsilon_{btu}}{\varepsilon_{st}},$$

где ε_{btu} – предельная растяжимость бетона; ε_{st} – деформации арматуры в сечении с трещиной.

После появления трещин уравнения (4) и (5) примут вид:

$$\begin{aligned} & \frac{\beta_i}{\aleph h} \left(R_{b,i} \int_{\varepsilon_{bt,u}}^{\varepsilon_1} \sum_{k=1}^l \frac{a_{k,i}}{k_i + 1} \left(\frac{\varepsilon_1^{k_i+1} - \varepsilon_2^{k_i+1}}{\varepsilon_{b,Ri}^{k_i}} \right) + R_{bt,i} \sum_{p=1}^z \frac{b_{p,i}}{p_i + 1} \left(\frac{\varepsilon_0^{p_i+1} - \varepsilon_2^{p_i+1}}{\varepsilon_{bt,Ri}^{p_i}} \right) + \right. \\ & \left. + R_{bt,i} \psi_{bt} (\varepsilon_{bt,u} - \varepsilon_2) \right) + \sum_{j=1}^m \mu_{ji} \sigma_{sj} = 0; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\beta_i}{\aleph^2 h^2} \left(R_{b,i} \sum_{k=1}^l \left(\frac{a_{k,i}}{k_i + 2} \left(\frac{\varepsilon_1^{k_i+2} - \varepsilon_2^{k_i+2}}{\varepsilon_{b,Ri}^{k_i}} \right) - \varepsilon_2 \frac{a_{k,i}}{k_i + 1} \left(\frac{\varepsilon_1^{k_i+1} - \varepsilon_2^{k_i+1}}{\varepsilon_{b,Ri}^{k_i}} \right) \right) + \right. \\ & \left. + R_{bt,i} \sum_{p=1}^z \left(\frac{b_{p,i}}{p_i + 2} \left(\frac{\varepsilon_0^{p_i+2} - \varepsilon_2^{p_i+2}}{\varepsilon_{bt,Ri}^{p_i}} \right) - \varepsilon_2 \frac{b_{p,i}}{p_i + 1} \left(\frac{\varepsilon_0^{p_i+1} - \varepsilon_2^{p_i+1}}{\varepsilon_{bt,Ri}^{p_i}} \right) \right) + \frac{\psi_{bt} R_{bt,i}}{2} (\varepsilon_{bt,u} - \varepsilon_2)^2 \right) + \\ & \left. + \sum_{j=1}^m \mu_{sj} \sigma_{sj} \xi_{sj} - m = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Решая системы уравнений (4, 5) и (6, 7), находим внешний момент, воспринимаемый сечением при заданном значении кривизны. Расчет напряженно-деформированного состояния элемента производился с учетом поперечной силы согласно [5]. На основании предложенной методики была написана программа расчета изгибаемых железобетонных элементов на языке FORTRAN 90.

Для апробации описанной методики расчета в ходе проведения научных исследований предусматривалось сопоставление опытных данных Дроновой А.В. о деформативности, трещиностойкости и прочности экспериментальных образцов перекрытий (рис. 1) с теоретическими данными, а также с результатами расчета по СП 52-101-2003.

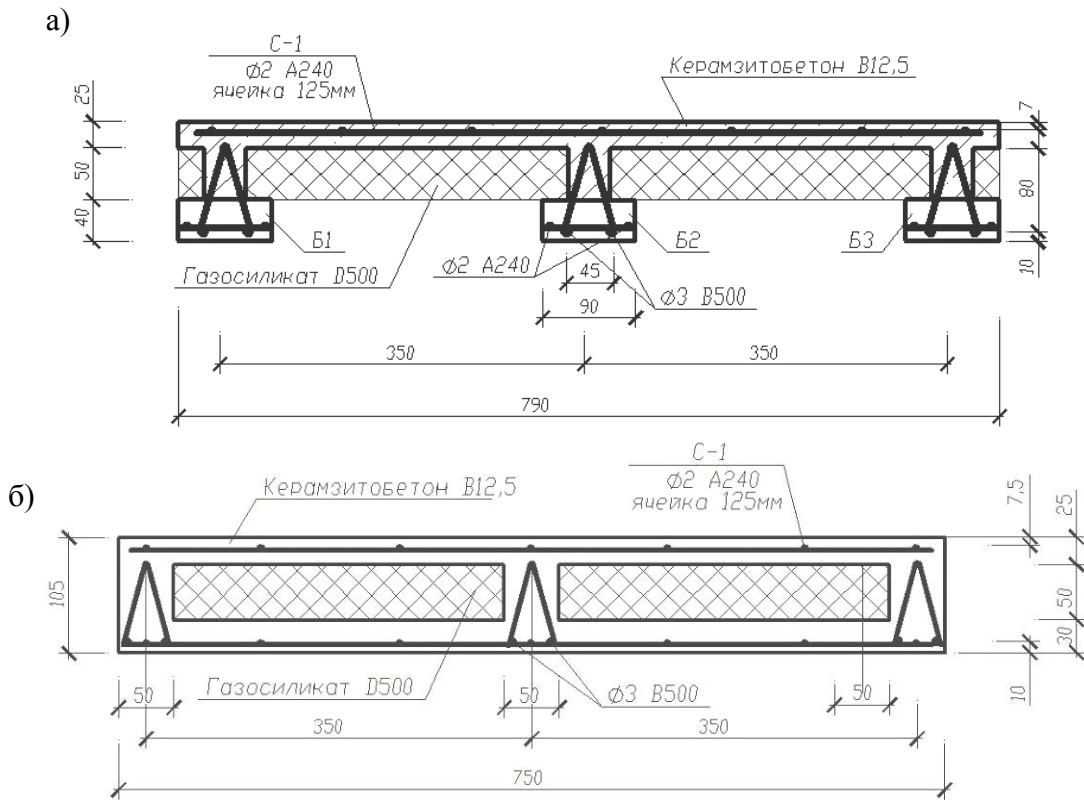


Рисунок 1 – Поперечное сечение экспериментальных образцов: а – сборно-монолитное перекрытие; б – монолитное перекрытие

В качестве исходных данных для проведения расчетов были использованы фактические геометрические характеристики экспериментальных образцов, прочностные и деформационные характеристики материалов, полученные при испытании вспомогательных образцов или назначенные по результатам анализа данных других авторов [2] (таблица 1).

Таблица 1 – Численные значения прочностных и деформационных характеристик бетонов

Класс бетона	R_b , МПа	R_{bt} , МПа	E_b , МПа	$\varepsilon_{bR} \times 10^{-5}$	$\varepsilon_{bu} \times 10^{-5}$	$\varepsilon_{bIR} \times 10^{-5}$	$\varepsilon_{btu} \times 10^{-5}$
B12,5	9,00	1,82	15714	250	283	18	23
B20	13,08	1,68	28304	190	350	10	15

Полученные диаграммы деформирования, описывающие зависимости между напряжениями и деформациями сжатого и растянутого бетонов, аппроксимировались полиномами 5-ой и 3-ей степени соответственно.

Расчет по действующим нормам проводился до уровня нагрузки, составляющей 80% от максимальной, определенной в ходе экспериментальных исследований.

По результатам выполненных расчетов построены зависимости « $M - f$ », которые были сопоставлены с аналогичными данными, полученными в ходе экспериментальных исследований (рис. 2, 3).

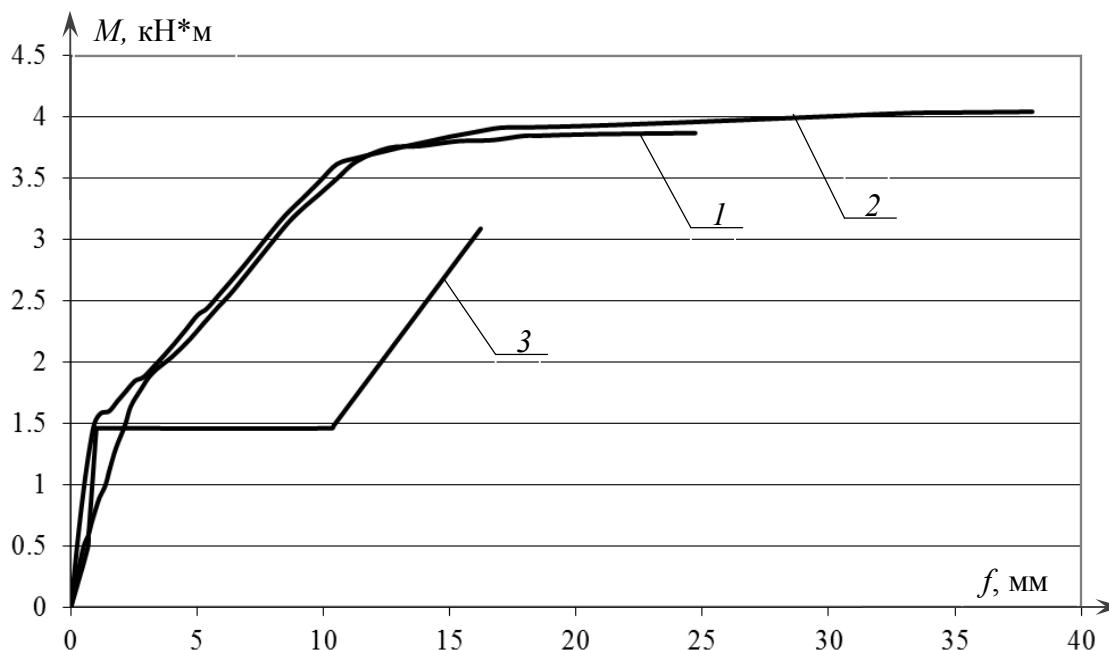


Рисунок 2 – Зависимости « $M - f$ » для сборно-монолитного перекрытия:
 1 – опытные данные; 2 – расчет по предложенной методике;
 3 – расчет по СП 52-101-2003

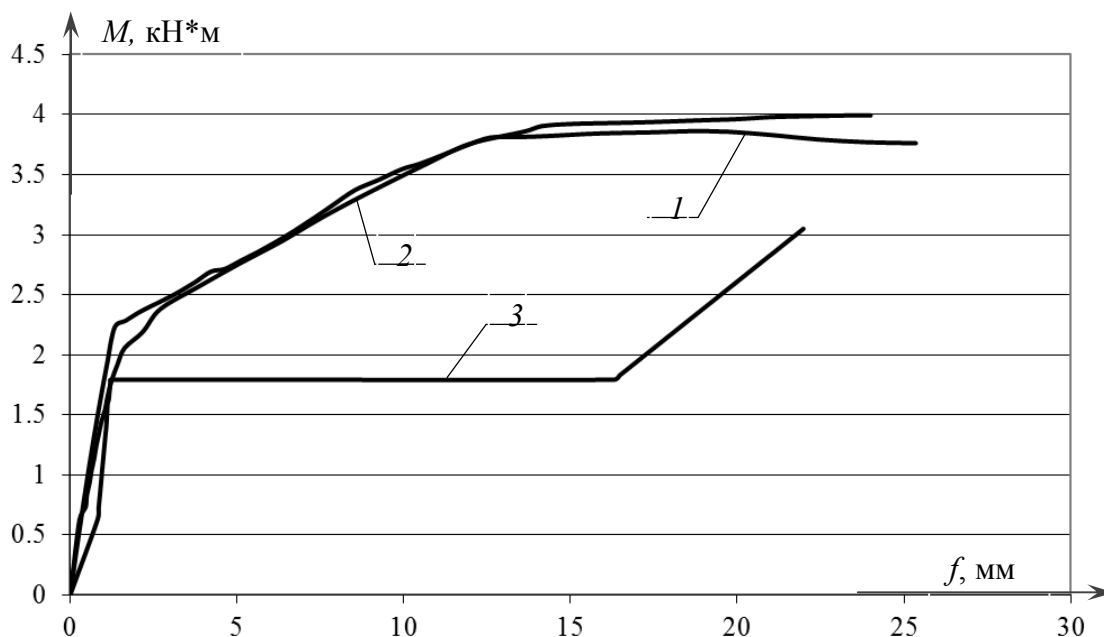


Рисунок 3 – Зависимости « $M - f$ » для монолитного перекрытия:
 1 – опытные данные; 2 – расчет по предложенной методике;
 3 – расчет по СП 52-101-2003

По очертанию графиков « $M - f$ » (см. рис. 2, 3) можно сделать вывод, что до образования трещин предложенная нами методика расчета позволяет адекватно оценить величину кривизны в сечении образцов. В момент образования трещин на диаграммах наблюдается излом и скачок, характеризующийся снижением усилия, воспринимаемого сечением в результате частичного выключения из работы растянутой зоны и проявлением пластических деформаций в

бетоне. Далее график переходит в нелинейный участок с меньшим углом подъема. При приближении изгибающего момента к разрушающему наблюдается значительный рост кривизны, и участок диаграммы вплоть до исчерпания несущей способности конструкции проходит почти горизонтально.

При расчете по нормативной методике СП 52-101-2003 диаграммы зависимостей « $M - f$ » монолитного и сборно-монолитного перекрытий (см. рис. 2, 3) состоят из двух наклонных участков, разделенных горизонтальным скачком с резким увеличением деформаций в момент образования трещин. До момента образования трещин расчет по существующим нормам определяет значение деформаций в сечении с достаточной точностью. Однако, в момент образования трещин жесткость сечения, согласно расчету, резко уменьшается, что и приводит к завышенным значениям кривизны и прогибов в расчетных сечениях образцов монолитного и сборно-монолитного перекрытий. Таким образом, расчет по нормативной методике не позволяет получить полную корректную картину деформирования изгибаемых элементов и не отражает реальную работу конструкций на всех этапах нагружения.

Анализ результатов теоретических исследований и сравнение их с экспериментальными данными позволяет сделать вывод, что определение несущей способности сборно-монолитного и монолитного перекрытий сопровождается незначительной недооценкой как по методике авторов (3%), так и по методике действующих норм (4%). Недооценка величины прогибов в расчетном сечении при расчете по методике авторов для сборно-монолитного и монолитного образцов перекрытий составляет соответственно 16% и 13%, что является достаточным для практических расчетов, тем более что отклонение идет в запас, что свидетельствует о надежности методики расчета и дальнейшей возможности ее совершенствования. Анализ графиков « $M - f$ », построенных по результатам расчетов по нормативной методике, показывает, что значения прогибов в расчетном сечении завышены более чем на 300% для монолитного и сборно-монолитного образцов перекрытия, что не позволяет оценить реальный уровень деформаций на стадии проектирования конструкции.

По результатам сравнительного анализа экспериментальных и теоретических данных о несущей способности и деформативности сборно-монолитного и монолитного перекрытий можно сделать вывод, что предложенная методика расчета корректно отражает процессы деформирования конструкций и позволяет в полной мере проследить их работу вплоть до разрушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольшев, А.Б. К разработке прикладной теории расчета железобетонных конструкций [Текст] / А.Б. Гольшев. – Бетон и железобетон. – 1985. – №6. – С. 16-18.
2. Мешкаускас, Ю.И. Конструктивный керамзитобетон [Текст] / Ю.И. Мешкаускас. – М.: Стройиздат, 1977. – 87с.
3. Орентлихер, Л.П. Сравнение понятий и свойств легкого и тяжелого бетонов [Текст] / Л.П. Орентлихер // Бетон и железобетон – пути развития: Всероссийская (междунар.) конф. по бетону и железобетону. – М.: Дипак, 2005. – Том 4 – С. 90-96.
4. Смоляго, Г.А. Определение коэффициента ψ_s в тонкостенных пространственных железобетонных конструкциях [Текст] / Г.А. Смоляго // Исследование и разработка эффективных конструкций, методов возведения зданий и сооружений: Сб. науч. трудов. – Белгород: БелГТАСМ, 1996. – С. 216-218.
5. Смоляго Г.А. Методика оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных стержневых элементов с учетом влияния поперечной силы [Текст] / Г.А. Смоляго, А.Е. Жданов, А.А. Крючков // Вестник отделения строительных наук. – 2005. – Вып. 9. – С. 364-365.
6. Яковенко, Г.П. Нелинейный расчет армированных стержней и стержневых конструкций [Текст] / Г.П. Яковенко. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1988. – 136 с.
7. Oladapo J.O. Stability of tensile beam / J. Structural Div. – 1969. – №1.

Смоляго Геннадий Алексеевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство»

Крючков Андрей Александрович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»

Дронова Александра Васильевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Аспирант кафедры «Промышленное и гражданское строительство»
E-mail: DAV0212@yandex.ru

Дрокин Сергей Владимирович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Аспирант кафедры «Промышленное и гражданское строительство»

SMOLJAGO G.A., KRJUCHKOV A.A., DRONOVA A.V., DROKIN S.V.

**FOR CALCULATION OF BENDABLE ELEMENTS
OF COMPOUND SECTIONAL FROM LIGHT-WEIGHT
CONCRETE OF POROUS AGGREGATES**

The approach is offered for analysis of mode of deformation of bendable elements, which allow to track the work of construction to destruction. On a basis of comparative analysis of experimental and theoretical data of bearing capacity and deformation the proposal for the assumption, which suppose, that tension region suffer according to the degree polynom in calculation of bendable elements of compound sectional view from claydite-concrete, is proved.

Keywords: bendable element, the tension region of concrete, claydite-concrete.

BIBLIOGRAPHY

1. Golyshev, A.B. K razrabotke prikladnoj teorii raschjota zhelezobetonnyh konstrukcij [Tekst] / A.B. Golyshev. – Beton i zhelezobeton. – 1985. – №6. – S. 16-18.
2. Meshkauskas, Ju.I. Konstruktivnyj keramzitobeton [Tekst] / Ju.I. Meshkauskas. – M.: Strojizdat, 1977. – 87s.
3. Orentliher, L.P. Sravnenie ponjatij i svojstv legkogo i tjazhelogo betonov [Tekst] / L.P. Orentliher // Beton i zhelezobeton – puti razvitiya: Vserossijskaja (mezhdunar.) konf. po betonu i zhelezobetonu. – M.: Dipak, 2005. – Tom 4 – S. 90-96.
4. Smoljago, G.A. Opredelenie koeficienta ψ_s v tonkostennyh prostranstvennyh zhelezobetonnyh konstrukcijah [Tekst] / G.A. Smoljago // Issledovanie i razrabotka jeffektivnyh konstrukcij, metodov vozvedeniya zdaniy i sooruzhenij: Sb. nauch. trudov. – Belgorod: BelGTASM, 1996. – S. 216-218.
5. Smoljago G.A. Metodika ocenki naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija zhelezobetonnyh sterzhnevnyh jelementov s uchetom vlijanija poperečnoj sily [Tekst] / G.A. Smoljago, A.E. Zhdanov, A.A. Krjuchkov // Vestnik otdelenija stroitel'nyh nauk. – 2005. – Vyp. 9. – S. 364-365.
6. Jakovenko, G.P. Nelinejnyj raschjot armirovannyh sterzhnej i sterzhnevnyh konstrukcij [Tekst] / G.P. Jakovenko. – L.: Izdatel'stvo Leningradskogo universiteta, 1988. – 136 s.
7. Oladapo J.O. Stability of tensile beam // J. Structural Div. – 1969. – №1.

Smolyago Gennady Alekseevich

Belgorod state technological university of V.G. Shukhov, Belgorod
Doctor of technical science, professor of department «Industrial and civil construction»

Krjuchkov Andrey Aleksandrovich

Belgorod state technological university of V.G. Shukhov, Belgorod
Candidate of Technical Sciences, associate professor «Industrial and civil construction»

Dronov Alexander Vasilyevna

Belgorod state technological university of V.G. Shukhov, Belgorod
Post-graduate student of department «Industrial and civil construction»
E-mail: DAV0212@yandex.ru

Drokin Sergey Vladimirovich

Belgorod state technological university of V.G. Shukhov, Belgorod
Post-graduate student of department «Industrial and civil construction»

ВЗАИМОСВЯЗЬ МАКСИМАЛЬНЫХ ПРОГИБОВ И ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СОСТАВНЫХ КВАДРАТНЫХ ИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА СИММЕТРИЧНО РАСПОЛОЖЕННЫХ СВЯЗЕЙ СДВИГА

Рассматривается взаимосвязь основной частоты свободных поперечных колебаний ω двухслойных изотропных пластин в ненагруженном состоянии и их максимальных прогибов W_0 при действии равномерно распределенной нагрузки в зависимости от граничных условий слоев и количества связей сдвига, симметрично расположенных по площади пластинки. Разработана конечно-элементная расчетная схема составной двухслойной пластины. Построены кривые «Прогиб – количество связей сдвига» и «Частота поперечных колебаний – количество связей сдвига». Показано, что для составных пластинок квадратного очертания с различными граничными условиями слоев коэффициент K с точностью до 2,24% при жестком защемлении пластины по контуру, до 5,63% при шарнирном опирании соответствует аналитическим значениям.

Ключевые слова: составная пластина, связи сдвига, поперечные связи, частота собственных колебаний, максимальный прогиб.

При усилении пластин важно не только запроектировать саму конструкцию усиления, но и изыскать способы эффективного включения ее в работу усиливаемой конструкции. Как правило, соединение усиливаемой и усиливающей конструкций выполняется на механических связях, обладающих определенной податливостью, и встает вопрос о количестве связей, необходимых и достаточных для эффективной работы полученной составной конструкции. В данной статье рассматривается взаимосвязь количества связей сдвига с частотами собственных поперечных колебаний пластины ω и максимальных прогибов W_0 при действии равномерно распределенной нагрузки q . Для этого обратимся к фундаментальной зависимости (1) профессора В.И. Коробко:

$$W_0 \cdot \omega^2 = K \frac{q}{m}, \quad (1)$$

где m – равномерно распределенная по площади масса пластинки; K – коэффициент.

В качестве расчетной конструкции была принята квадратная пластина $a \times b = 1000 \times 1000$ мм (рис. 1). Было рассмотрено два условия закрепления пластин по контуру: шарнирное опирание и жесткое защемление (рис. 2, 3). Опоры по контуру плиты располагались в узлах конечных элементов слоев, при этом их граничные условия были одинаковыми. Обе пластины были соединены поперечными связями во избежание удаления или сближения слоев друг относительно друга, их жесткость составляет $EA_{св.} = 8^3$ кН, что соответствует стальному цилиндрическому нагелю диаметром $d = 2$ мм. Жесткость связей сдвига была принята равной $EA_{св.сдв} = 10$ кН, основываясь на анализе данных, полученных в статье [1]. В работе [1] были исследованы методом конечных элементов составные квадратные пластины на податливых связях размером 1000×1000 мм с сеткой конечных элементов каждого слоя 50×50 мм, что соответствует общему количеству конечных элементов 400 (20×20). По результатам исследований выявлено, что точность определения коэффициента K находится в пределах 3,05% от аналитического. В данной работе критерием точности также выступит коэффициент K , аналитическое значение которого для квадратных пластин шарнирно опертых по контуру составляет $k = 1,582$, а при жестком защемлении $k = 1,61$.

Слои составной пластины были приняты из древесно-стружечной плиты, а все их характеристики взяты из паспорта изделия: толщина $\delta = 8$ мм, средняя плотность $\rho = 740$ кг/м³,

модуль упругости при изгибе $E=260000$ МПа. Для динамического расчета массы в узлах собирались в соответствии с объемным весом и грузовой площадью узла. При статическом расчете к верхнему слою прикладывалась равномерно распределенная нагрузка интенсивностью 1 кН/м^2 . Исследования проводились методом конечных элементов (МКЭ). Расстояние между слоями принималось равным расстоянию между их центрами тяжести слоев.

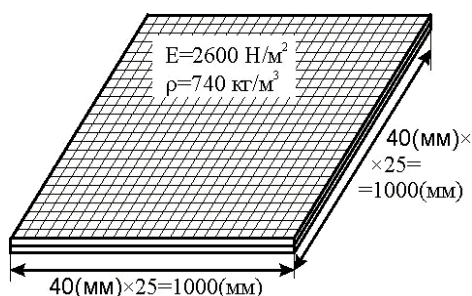


Рисунок 1 – Разбивка составной квадратной пластины на конечные элементы

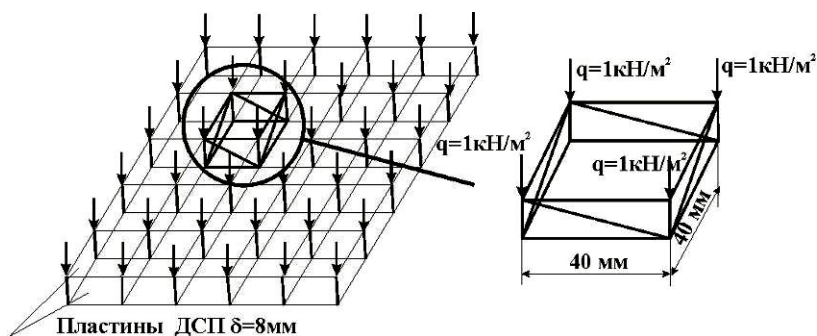


Рисунок 2 – Конечный элемент пластины с поперчными связями и связями сдвига

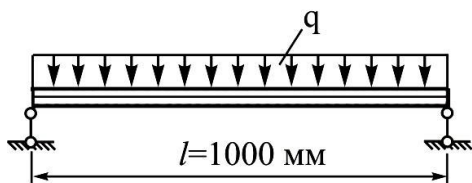


Рисунок 3 – Расчетные схема шарнирно опертой по контуру составной квадратной пластины

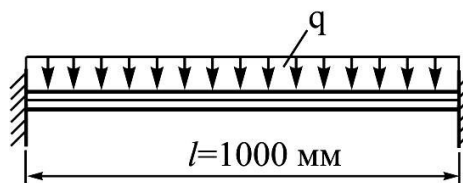


Рисунок 4 – Расчетные схема защемленной по контуру составной квадратной пластины

Так как количество конечных элементов незначительно влияет на точность результатов [2], квадратная двуслойная пластина была разбита на 625 конечных элементов (см. рис. 1) для более удобного симметричного введения в расчетную схему связей сдвига, которые были установлены в соответствии со схемами $a...e$ рисунка 5.

Численные исследования были проведены с помощью программы «Scad». В результате расчета определялся максимальный прогиб W_0 и частота основного тона поперечных колебаний ω . Результаты расчета жестко защемленной пластины приведены в таблице 1. По данным таблицы 1 построены графики изменения прогибов и частот колебаний и коэффициента k в зависимости от количества связей сдвига EA_{cc} (рис. 5 и 6) по схемам 1-6.

Таблица 1 – Результаты численных исследований составной квадратной пластины размером $a \times b = 1000 \times 1000$ мм, жестко защемленной по контуру

№ п/п	Кол-во КЭ со связями сдвига	Круговая частота основного тона, ω (с^{-1})	Максимальный прогиб, W_0 (мм)	$K = \frac{W_0 \cdot \omega^2}{(q/m)}$	$K_{\text{аналит}}$, на основании аналит. W_0 и ω	Отклонение $K_{\text{факт}}$ от $K_{\text{аналит}}$ (%)
1	0	163,5149	5,147352	1,629485	1,61	1,948451
2	9	163,583	5,143177	1,629519		1,951931
3	16	164,8321	5,056446	1,6266		1,659959
4	25	166,2708	4,972253	1,62756		1,755957
5	49	170,063	4,741702	1,623699		1,36994
6	81	174,9667	4,467269	1,619215		0,921534
7	169	187,1158	3,881802	1,609185		-0,08149
8	625	226,6585	2,61002	1,587594		-2,24056

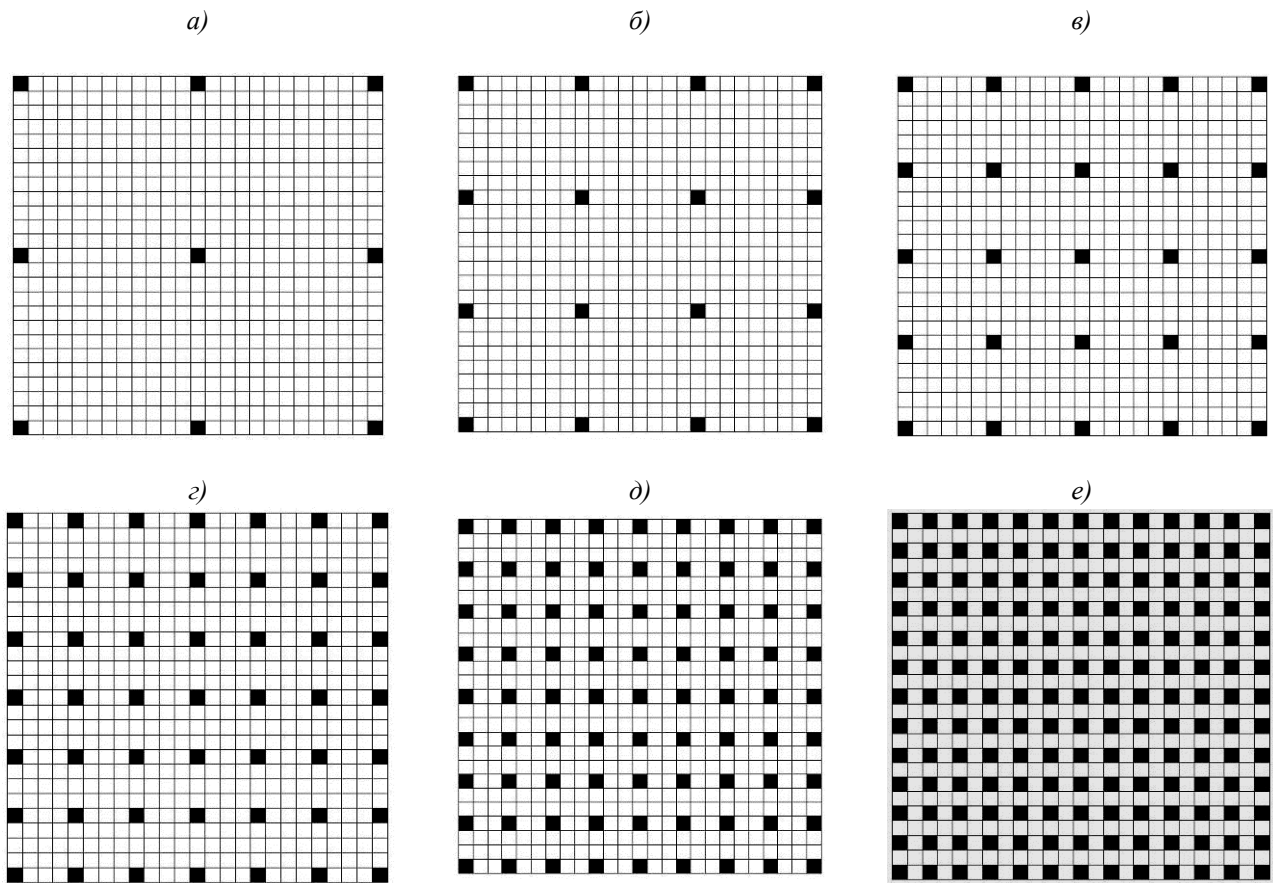


Рисунок 5 – Схема расстановки связей сдвига в квадратных пластинках:
 а – 9 конечных элементов с связями сдвига ($n_{св.сдвига}/n_{КЭ}=0,015$); б – 16 конечных элементов с связями сдвига ($n_{св.сдвига}/n_{КЭ}=0,025$); в – 25 конечных элементов с связями сдвига ($n_{св.сдвига}/n_{КЭ}=0,04$);
 г – 49 конечных элементов с связями сдвига ($n_{св.сдвига}/n_{КЭ}=0,078$); д – 81 конечный элемент с связями сдвига ($n_{св.сдвига}/n_{КЭ}=0,130$); е – 169 конечных элементов с связями сдвига ($n_{св.сдвига}/n_{КЭ}=0,270$)

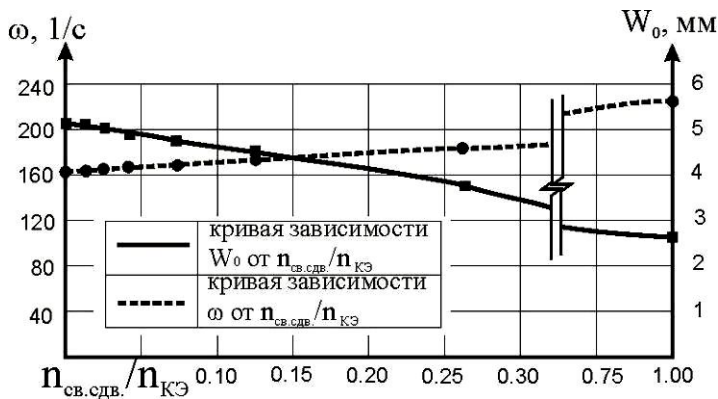


Рисунок 6 – Изменение частот собственных колебаний и прогибов в зависимости от количества связей сдвига при жестком защемлении по контуру

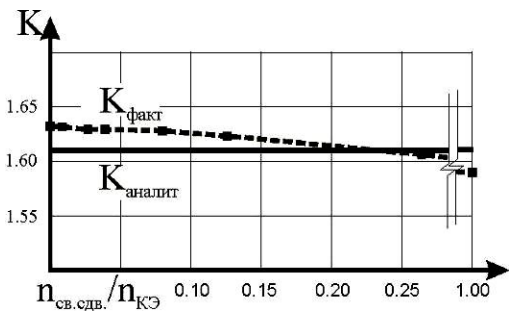


Рисунок 7 – Изменение коэффициента K в зависимости от количества связей сдвига при жестком защемлении по контуру

Результаты расчета шарнирно опертой по контуру пластины приведены в таблице 2. По данным таблицы 2 построены графики изменения прогибов и частот колебаний и коэффициента K в зависимости от количества связей сдвига (рис. 8 и 9) по схемам а...е.

Анализируя данные можно сделать вывод, что фундаментальная зависимость (1) справедлива для двухслойной составной пластины независимо от количества симметрично расположенных связей сдвига и граничных условий слоев.

Таблица 2 – Результаты численных исследований составной квадратной пластины размером $a \times b = 1000 \times 1000$ мм, шарнирно опертой по контуру

№ п/п	Кол-во КЭ со связями сдвига	Круговая частота основного тона, ω (с ⁻¹)	Максимальный прогиб, W_0 (мм)	$K = \frac{W_0 \cdot \omega^2}{(q/m)}$	$K_{\text{аналит}}$, на основании аналит. W_0 и ω	Отклонение $K_{\text{факт}}$ от $K_{\text{аналит}}$ (%)
1	0	89,63244	16,58006	1,577133	1,582	-3,28673
2	9	91,72874	15,8529	1,579324		-3,06758
3	16	93,53976	15,21489	1,576206		-3,37938
4	25	95,74952	14,52379	1,57654		-3,34604
5	49	101,1232	12,99665	1,573565		-3,64348
6	81	107,3554	11,50517	1,569974		-4,00257
7	169	120,8683	9,03314	1,562483		-4,75171
8	625	157,8278	5,268047	1,553704		-5,62958

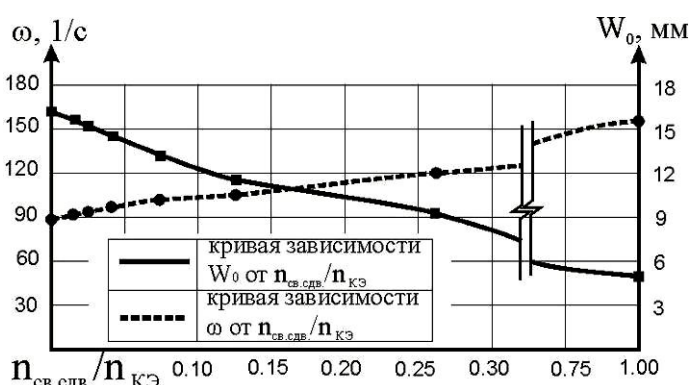


Рисунок 8 – Изменение частот собственных колебаний и прогибов в зависимости от количества связей сдвига при шарнирном опирании по контуру

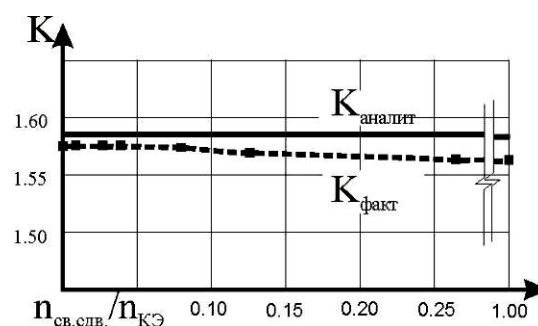


Рисунок 9 – Изменение коэффициента K в зависимости от количества связей сдвига при шарнирном опирании по контуру

Заключение

В результате численного исследования составных изотропных пластин на податливых связях была подтверждена закономерность (1) при разном количестве симметрично расположенных связей сдвига. Результаты исследования показали хорошее совпадение полученного коэффициента K с аналитическими значениями. Расхождение для квадратных пластин составило от 2,24% при жестком защемлении пластины по контуру до 5,63% при шарнирном опирании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Турков, А.В. Прогибы и частоты собственных колебаний составных квадратных изотропных пластин с различными граничными условиями при изменении жесткости связей сдвига [Текст] / А.В. Турков, К.В. Марфин // Строительство и реконструкция. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК». – 2011. – №4. – С. 38-42.
2. Турков, А.В. Точность результатов численных исследований квадратных составных изотропных пластин на податливых связях при разном количестве конечных элементов [Текст] / А.В. Турков, К.В. Марфин // Строительство и реконструкция. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК». – 2011. – №6. – С. 43-49.

Турков Андрей Викторович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
 Доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции и материалы»
 E-mail: antur@orel.ru

Марфин Кирилл Васильевич

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
 Инженер
 E-mail: oantc@mail.ru

RELATIONSHIP MAXIMUM DEFLECTION AND EIGENFREQUENCIES VIBRATIONS OF COMPOSITE ISOTROPIC SQUARE PLATE DEPENDING ON THE NUMBER SYMMETRICAL SHEAR TIES

The interrelation of the basic frequency of free cross-section fluctuations ω a two-layer isotropic plate in not loaded condition and their maximum deflections W_0 is considered at action of in regular intervals distributed loading depending on boundary conditions of layers and quantity of communications of the shift placed symmetrically in final elements into which both plates are broken. The certainly-element scheme of a two-layer plate is developed. Curves «Deflection – quantity of communications of shift» and «Frequency of cross-section fluctuations – quantity of communications of shift» are constructed. It is shown that for compound plates of a square outline with various boundary conditions of layers factor K to within 2,24% at a rigid jamming of a plate on a contour to 5,63% at the pivoting bearing.

Keywords: a compound plate, shift communications, cross-section communications, frequency of own fluctuations, the maximum deflection.

BIBLIOGRAPHY

1. Turkov, A.V. Progiby i chastoty sobstvennyh kolebanij sostavnyh kvadratnyh izotropnyh plastin s razlichnymi granichnymi uslovijami pri izmenenii zhestkosti svjazej sdviga [Tekst] / A.V. Turkov, K.V. Marfin // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK». – 2011. – №4. – S. 38-42.
2. Turkov, A.V. Tochnost' rezul'tatov chislennyh issledovanij kvadratnyh sostavnyh izotropnyh plastin na podatlivyh svjazzjah pri razlichnom kolichestve konechnyh jelementov [Tekst] / A.V. Turkov, K.V. Marfin // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK». – 2011. – №6. – S. 43-49.

Turkov Andrey Viktorovich

State university – educational-science-production complex, Orel
Doctor of technical science, professor of department «Building designs and materials»
E-mail: antur@orel.ru

Marfin Kirill Vasilevich

State university – educational-science-production complex, Orel
Engineer
E-mail: oantc@mail.ru

МАЛИНИН В.Г., МАЛИНИН Г.В.

ВАРИАНТ СТРУКТУРНО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕЗОМЕХАНИКИ, УЧИТЫВАЮЩИЙ ВОЛНОВОЙ ХАРАКТЕР ДЕФОРМАЦИЙ, ИНИЦИИРУЕМЫХ МАРТЕНСИТНЫМИ ПРЕВРАЩЕНИЯМИ

В данной статье развивается структурно-аналитическая мезомеханика для сред с мартенситным механизмом массопереноса. Впервые выведены волновые уравнения для описания процесса деформаций, инициируемых мартенситными превращениями на мезо- и макромасштабных уровнях.

Ключевые слова: структурно-аналитическая мезомеханика, мартенситные превращения, волновые уравнения, микро-, мезо- и макромасштабные уровни.

Деформацию нагруженного объекта, деформируемого за счет инициирования обратимых мартенситных реакций, можно представить как многоуровневый релаксационный процесс. Коротко рассмотрим основные этапы зарождения и развития процессов массопереноса при обратимых фазовых превращениях мартенситной природы. Для удобства восприятия на рисунке 1 изображена схема масштабных и структурных уровней, принятая при построении модели.

Согласно данным физических исследований, вначале потеря сдвиговой устойчивости происходит на микроуровне, в локальных областях кристалла, где возникают зародыши мартенситной фазы. Возникающие на структурных неоднородностях микроконцентраторы напряжений вызывают мартенситную трансформацию кристаллической решетки в определенных кристаллографических плоскостях и направлениях. Такое локальное структурное превращение проявляется как возникновение и развитие мартенситных зародышей в аустенитной матрице. Обозначенный этап изображен на рисунке 1, а, где заштрихованными областями схематически представлены зародыши мартенсита. Так как влияние микроконцентраторов является близкодействующим, то возникающие дисторсии превращений с хорошим приближением можно характеризовать трансляционными модами деформации.

В процессе деформации плотность образующихся мартенситных кристаллов возрастает, вовлекаются варианты мартенситных превращений не совпадающие с благоприятно ориентированными направлениями в поле внешних напряжений, обусловленные траекториями нагружений в пространстве напряжений.

Указанные обстоятельства вызывают необходимость самоорганизации мартенситных доменов в соответствии с заданными граничными условиями, т.е. с направлениями главных осей тензора деформаций в каждый момент процесса деформирования. Как следствие, возникают самоаккомодированные группы мартенситных кристаллов, образующие диссипативные структуры в рамках исходной структуры материала (рис. 1, б). Такие диссипативные структуры способствуют появлению трансляционно-ротационных мод деформаций по схеме сдвиг+поворот и классифицируются как мезомасштабный уровень 1.

На рассматриваемом масштабном и структурном уровне ярко проявляются гидродинамические характеристики вещества, зависящие от истории термомеханического воздействия и вида напряженно-деформированного состояния [1].

По мере развития мартенситных реакций, нарастает плотность структурных несовершенств более крупного масштабного уровня и при некотором критическом значении мезоконцентраторов, когда величина дисторсии превращения на уровне мезо-1 достигает предельной величины, теряется сдвиговая устойчивость в локальных зонах следующего мезоструктурного уровня мезо-2 (рис. 1, в). Таким образом, становятся возможными структурные изменения в областях значительной протяженности и в произвольных направлениях, не обязательно совпадающих с кристаллографическими вариантами сдвигов при мартенситных превращениях. По-

являются протяженные полосовые деформационные структуры, они зарождаются на мезоконцентраторах напряжений и распространяются на большие расстояния через многие структурные элементы независимо от кристаллографической ориентации. На данном масштабном уровне особое значение приобретают стохастические свойства формирования трансляционно-ротационного поля деформируемого материала.

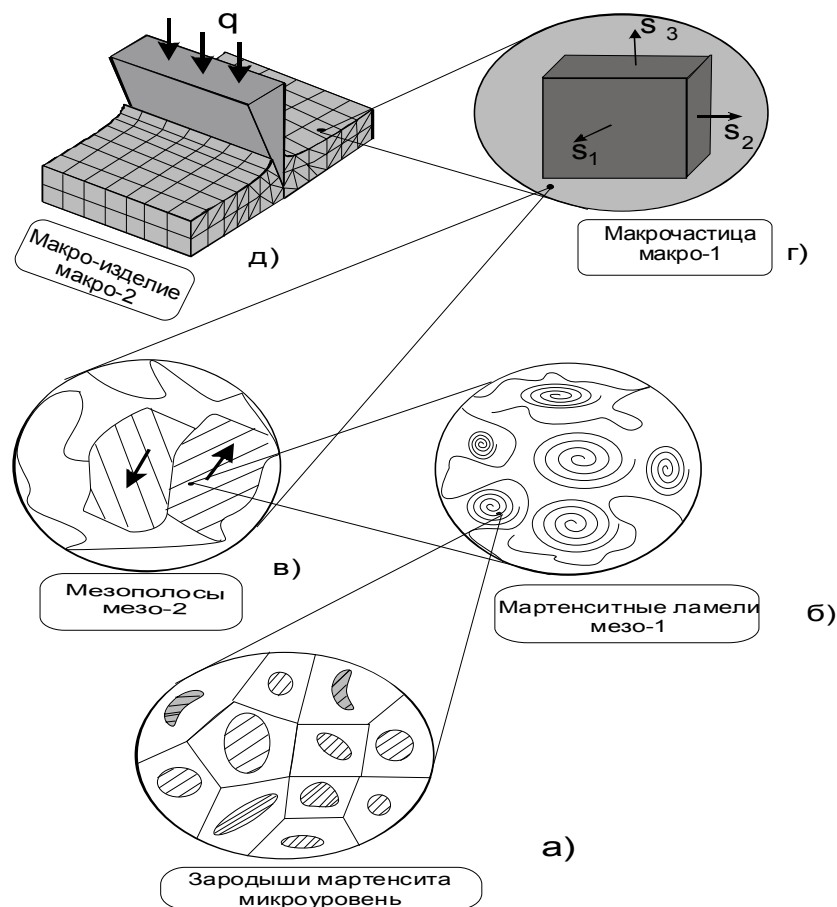


Рисунок 1 – Схема масштабных и структурных уровней в деформируемом объекте из материалов с мартенситным механизмом массопереноса: а – микро-, заштрихованные области обозначают зародыши мартенситных кристаллов; б – мезо-1; в – мезо-2; г – макро-1

Самоорганизация сложных стохастических процессов в различных объемах масштабного уровня мезо-2 приводит к формированию нетривиальных тензорных свойств на масштабном уровне макрочастицы вещества, т.е. на уровне макро-1 (рис. 1, г). Неоднородное распределение макродеформаций в нагруженном реальном изделии требует анализа напряженно-деформированного состояния в рамках решения краевой задачи механики деформируемого твердого тела, т.е. рассмотрения масштабного уровня макро-2 (рис. 1, в).

Отметим, что приведенная на рисунке 1 схема основных структурных и масштабных уровней процесса деформации весьма условна, однако, она позволяет в целом правильно представлять последовательность и основные этапы моделирования, которые в последующих разделах сформулированы в виде соответствующих связных определяющих соотношений. Ниже приведен краткий список формул:

Микроуровень (характерный объем усреднения $V_0 \gg a^3$), где a – параметр решетки [2].

Деформация на микроуровне β_{ik}^Φ при мартенситных реакциях отождествляется с дисторсией превращения D_{ik} . Кинетика накопления мартенситной фазы (Φ) изображена на (рис. 2):

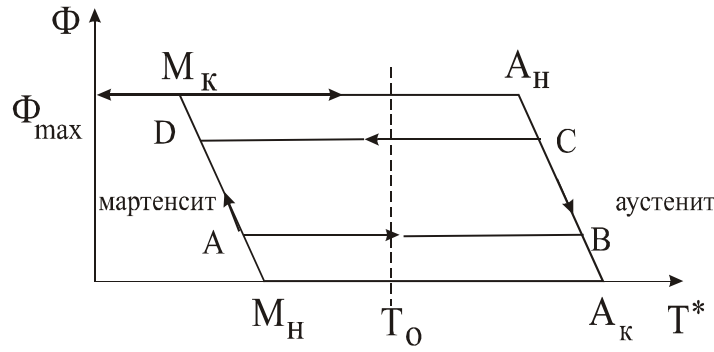


Рисунок 2 – Схема кинетики изменения мартенсита ($\Phi=V_{0\phi}/V_0$) в локальной области ориентационного пространства в зависимости от эффективной температуры T^* при прямой ($A \rightarrow M$) и обратной ($A \leftarrow M$) мартенситных реакциях

Мезоуровень-1 ($V_0 \ll V_{m1} \ll V_{m2}$), где V_{m2} - характерный объем мезо-2 [2, 3].

Деформация на мезоуровне-1 L_{ik}^Φ при мартенситных реакциях отождествляется с дисторсией мезо-1 B_{ik}^Φ . Определяющие уравнения на рассматриваемом масштабном и структурном уровне подчиняются уравнениям сохранения гидродинамического типа. Модификация названных уравнений представлена соотношениями (2).

$$\begin{aligned}
 B_{ik}^\Phi &= B_{31}^\Phi \delta_{i3} \delta_{k1}, \dot{B}_{31}^\Phi = -\bar{\nabla}_\Omega \cdot \bar{I}_\beta + \sigma_\beta, L_{ik}^\Phi = L_{31}^\Phi \delta_{i3} \delta_{k1}, L_{31}^\Phi = B_{31}^\Phi \Phi_{m1}^0; \\
 \Phi_{m1}^0 &= \int_0^t \int_{-D}^D \int_{-D}^D \psi(S_\Gamma) \varphi(S_D) \dot{\Phi} dS_\Gamma dS_D dS; \\
 \langle \dot{\beta}_{31}^\Phi \rangle &= \int_{-D}^D \int_{-D}^D \psi(S_\Gamma) \varphi(S_D) \dot{\beta}_{31}^\Phi dS_\Gamma dS_D; \\
 \bar{I}_\beta &= A_{1\Phi} \bar{\nabla}_\Omega \langle \beta_{31}^\Phi \rangle, \langle \beta_{31}^\Phi \rangle = \int_0^t \langle \dot{\beta}_{31}^\Phi \rangle dS, \sigma_\beta = K_{1\Phi} \langle \dot{\beta}_{31}^\Phi \rangle + l_{1\Phi} (\bar{\nabla}_\Omega \times \bar{a}_\Phi) \cdot \bar{e}_n; \\
 \bar{a}_\Phi &= \langle \dot{\beta}_{31}^\Phi \rangle \bar{e}_l; l_{1\Phi} = \eta_{1\Phi} \cdot \left(\frac{\text{mod } \nabla_\Omega \langle \dot{\beta}_{31}^\Phi \rangle}{\nabla_\Omega^2 \langle \dot{\beta}_{31}^\Phi \rangle} \right).
 \end{aligned} \tag{2}$$

В формулах (2) B_{ik}^Φ (дисторсия) превращения на мезо-1; вектор \bar{I}_β характеризует плотность потока дисторсии на мезо-1; параметр σ_β описывает производство внутреннего источника дисторсии B_{31}^Φ за счет инициирования в мезообъеме V_{m1} статистического ансамбля скорости дисторсий мартенситных преобразований ($\langle \dot{\beta}_{31}^\Phi \rangle$) и потока циркуляции деформационного поля (составляющая $l_1 (\nabla_\Omega \times \bar{a}_\Phi) \cdot \bar{e}_n$). Параметр l_1 характеризует размер возникающего вихря; $K_{1\Phi}$, $A_{1\Phi}$, $\eta_{1\Phi}$ – константы вещества; $\bar{\nabla}_\Omega$ – оператор «набла» для ориентационной системы координат.

Скорость дисторсии $\dot{\beta}_{ik}^\Phi$ и интенсивность структурных напряжений q_{ik}^Φ на рассматриваемом масштабном уровне будем описывать системой интегро-дифференциальных уравнений, учитывающей условие сохранения неразрывности среды. В рамках развиваемой модели условие неразрывности среды означает необходимость согласования скоростей скольжения рассматриваемой полосы и сдвигов, происходящих в произвольных мезополосах деформации. Используя методику, развитую в статистической механике сплошной среды, можно сформулировать для мезо-2 следующие аналитические соотношения:

$$\begin{aligned}
 \dot{\beta}_{ik}^\Phi &= \dot{\beta}_{31}^\Phi \delta_{i3} \delta_{k1}; \\
 \dot{q}_{31}^\Phi(\Omega_i) &= \int_{\{\Omega_i'\}} f(\Omega_i') R(\Omega_i, \Omega_i') \frac{1}{2} [\alpha_{m3}(\Omega_i') \alpha_{n1}(\Omega_i') + \alpha_{m1}(\Omega_i') \alpha_{n3}(\Omega_i')] \bar{D}(\dot{\epsilon}_{mn}^\Phi) d\Omega_i'
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\varphi}_{31}^{\Phi} &= \int_{\{\Omega'_{am}\}} f(\Omega'_{am}) A_m(\Omega_{am}, \Omega'_{am}) \frac{1}{2} [\alpha_{m3}(\Omega'_{am}) \alpha_{n1}(\Omega'_{am}) + \alpha_{m1}(\Omega'_{am}) \alpha_{n3}(\Omega'_{am})] \times \bar{D}(\sigma_{mn}^*) d\Omega'_{am} + \\ &+ \int_{\{\Omega'_{ma}\}} f(\Omega'_{ma}) M_A(\Omega_{ma}, \Omega'_{ma}) \frac{1}{2} [\alpha_{m3}(\Omega'_{ma}) \alpha_{n1}(\Omega'_{ma}) + \alpha_{m1}(\Omega'_{ma}) \alpha_{n3}(\Omega'_{ma})] \bar{D}(\varepsilon_{mn}^{\Phi}) d\Omega'_{ma}; \quad (3) \\ \bar{D}(\sigma_{ik}^*) &= \sigma_{ik}^* / \sigma_i^*; \sigma_{ik}^* = \sigma_{ik} - \rho_{ik}; \sigma_i^* = \frac{1}{\sqrt{2}} (\sigma_{ik}^* \sigma_{ik}^*)^{1/2}; \\ \bar{D}(\dot{\varepsilon}_{ik}^{\Phi}) &= \dot{\varepsilon}_{ik}^{\Phi} / \dot{\varepsilon}_i^{\Phi}; \quad \dot{\varepsilon}_i^{\Phi} = \frac{1}{\sqrt{2}} (\dot{\varepsilon}_{ik}^{\Phi} \dot{\varepsilon}_{ik}^{\Phi})^{1/2}. \end{aligned}$$

В формулах (3) $\bar{D}(\sigma_{ik}^*)$, $\bar{D}(\dot{\varepsilon}_{ik}^{\Phi})$ – направляющие тензоры эффективных напряжений (σ_i^*) и скорости фазовой деформации $\dot{\varepsilon}_{ik}^{\Phi}$, соответственно; $f(\Omega_i)$ и $f(\Omega'_i)$ – плотности распределения по ориентациям $\{\Omega_i\}$ и $\{\Omega'_i\}$; $A_m(\Omega_{am}, \Omega'_{am})$, $M_A(\Omega_{ma}, \Omega'_{ma})$ и $R(\Omega_i, \Omega'_i)$ – функции влияния, которые имеют смысл структурной податливости, структурной памяти формы и структурной релаксации, соответственно; $q_{31}^{\Phi}(\Omega_i)$ – интенсивности структурных напряжений ρ_{ik} ; $\{\Omega_i\}$ – области ориентационного пространства, где проходят сдвиги; $\{\Omega'_i\}$ – области влияния [2].

Макроуровень-1 ($V_{m2} \ll V \ll R^3$), где R – характерный размер макроизделия.

На макроуровне в результате ориентационного усреднения получаются определяющие соотношения в традиционной форме, принятой в механике деформируемого твердого тела.

$$\begin{aligned} \Phi_{\Sigma} &= \int_{\{\Omega_0\}} f(\Omega_0) \Phi_{m1}^0(\Omega_0) d\Omega_0; \quad \dot{\varepsilon}_{ik}^{\Phi} \{V_0\} = \frac{1}{2} \int_{\{\Omega_0\}} f(\Omega_0) (\alpha_{i3} \alpha_{k1} + \alpha_{i1} \alpha_{k3}) \langle \dot{\beta}_{31}^{\Phi}(\Omega_0) \rangle d\Omega_0; \\ \dot{\varepsilon}_{ik}^{\Phi} \{V_{m1}\} &= \frac{1}{2} \int_{\{\Omega_{m1}\}} f(\Omega_{m1}) (\alpha_{i3} \alpha_{k1} + \alpha_{i1} \alpha_{k3}) \dot{L}_{31}^{\Phi}(\Omega_{m1}) d\Omega_{m1}; \\ \dot{\varepsilon}_{ik}^{\Phi} \{V_{m2}\} &= \frac{1}{2} \int_{\{\Omega_i\}} f(\Omega_i) [\alpha_{i3}(\Omega_i) \alpha_{k1}(\Omega_i) + \alpha_{i1}(\Omega_i) \alpha_{k3}(\Omega_i)] \dot{\varphi}_{31}^{\Phi} d\Omega_i; \quad (4) \\ \dot{\rho}_{ik}^{(i)} &= \frac{1}{2} \int_{\{\Omega_i\}} f(\Omega_i) [\alpha_{i3}(\Omega_i) \alpha_{k1}(\Omega_i) + \alpha_{i1}(\Omega_i) \alpha_{k3}(\Omega_i)] \dot{q}_{31}^{\Phi} d\Omega_i; \\ \dot{\varepsilon}_{ik}^{\Phi} \{V_{m2}\} &= A_{ikpq}^{\Phi} \sigma_{pq}^* + M_{ikpq}^{\Phi} \varepsilon_{pq}^{\Phi}; \quad \sigma_{ik}^* = \sigma_{ik} - \rho_{ik}; \quad \dot{\rho}_{ik}^{(i)} = R_{ikpq}^{(i)} \dot{\varepsilon}_{pq}^{\Phi}. \quad (5) \end{aligned}$$

Здесь $\varepsilon_{ik}^{\Phi} \{V_0\}$, $\varepsilon_{ik}^{\Phi} \{V_{m1}\}$, $\varepsilon_{ik}^{\Phi} \{V_{m2}\}$ – тензоры макроскопической деформации, характеризующие вклад процессов массопереноса на микро, мезо-1 и мезо-2 структурных и масштабных уровнях соответственно. Более подробно соотношения (1)-(5) обсуждаются в [2].

Модель мезомеханики с учетом волнового характера деформации. Как известно [4], особенностью движения мезополос в деформируемом твердом теле является сложный характер взаимодействия эффективных сдвиговых напряжений с подсистемой структурных несовершенств, что в заданных граничных условиях (определяемых направлением главных осей напряженного состояния в пространстве напряжений при «мягких» траекториях нагружения или соответствующих направлений в пространстве деформаций при жестких режимах нагружения) приводит к волновому характеру распространения пластического течения.

Примем в качестве обобщенной координаты сдвиговую компоненту тензора дисторсии φ_{31}^{Φ} на масштабном уровне мезо-2 [3]. Для построения волнового уравнения необходимо ввести тензорный параметр $\Delta_{\Omega} \varphi_{31}^{\Phi} \delta_{i3} \delta_{k1}$ (Δ_{Ω} – оператор Лапласа). Однако более целесообразно вместо $\Delta_{\Omega} \varphi_{31}^{\Phi} \delta_{i3} \delta_{k1}$ рассмотреть соответствующий аналог, по компоненте $\langle B_{31}^{\Phi} \rangle$ [1], в виде параметра $\Delta_{\Omega} \langle B_{31}^{\Phi} \rangle \delta_{i3} \delta_{k1}$. Такой прием является непоследовательным для процессов переноса описываемых в рамках одного масштабного уровня. В нашем же случае многоуровневого анализа такой подход является естественным и методически оправдан, так как позволяет органи-

зовать дополнительную связность процессов эволюции деформационных структур на микро-, мезо- и макромасштабных уровнях. С учетом сказанного введем в рассмотрение тензорный параметр d_{ik} в виде:

$$d_{ik} = \Delta_{\Omega} \langle B_{3l}^{\Phi} \rangle \delta_{i3} \delta_{kl} = d_{3l} \delta_{i3} \delta_{kl}. \quad (6)$$

Волновое уравнение для сдвиговой компоненты деформации на мезоструктурном уровне мезо-2 можно представить следующим уравнением:

$$\begin{aligned} m_2 \ddot{\phi}_{3l}^{\Phi}(\Omega) + m_1 \dot{\phi}_{3l}^{\Phi}(\Omega) + m_0 \phi_{3l}^{\Phi}(\Omega) = A_B d_{3l}(\Omega) + \\ + \int f(\Omega') A(\Omega, \Omega') \frac{1}{2} [\alpha_{m3}(\Omega') \alpha_{nl}(\Omega') + \alpha_{ml}(\Omega') \alpha_{n3}(\Omega')] \bar{D}(\dot{\sigma}_{mn}^*) d\Omega'_{am} + \\ + \int_{\{\Omega_2\}} f(\Omega'') M_A(\Omega, \Omega'') \frac{1}{2} [\alpha_{m3}(\Omega'') \alpha_{nl}(\Omega'') + \alpha_{ml}(\Omega'') \alpha_{n3}(\Omega'')] \bar{D}(\varepsilon_{mn}^{\Phi}) d\Omega''_{ma}. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь Δ_{Ω} – оператор Лапласа для гидродинамического ориентационного пространства $\{\Omega_2\}$, m_0 , m_1 , m_2 , A_B – константы материала. Наличие зависящих от ориентационных координат и времени, составляющих правой части уравнения (7), свидетельствует о сильном затухании волн пластического течения в структурно-неоднородной среде. Специфика инициирования колебаний мезоструктуры в процессе деформации позволяет характеризовать ее, как активную возбудимую среду [4].

Имеющиеся экспериментальные данные [4] убедительно свидетельствуют об автоволновой природе сдвигов мезополос деформации на мезоструктурном уровне. Уравнение (7) является естественным обобщением уравнения (3) и учитывает волновой характер процесса деформации на мезоструктурном уровне.

Учет описания автоволновых процессов на масштабном уровне макро-1, приводит к появлению в уравнении для расчета компонент тензора неупругой деформации $\varepsilon_{ik}^H \{V_{m2}\}$ производных как первого, так и второго порядка, что естественным образом описывает осциллирующий характер распространения бегущего импульса в активной упруго-пластической среде.

Выполнив ориентационное усреднение соотношений (7) мезомасштабного уровня получим искомые волновые уравнения на макромасштабном уровне в виде:

$$m_2 \ddot{\varepsilon}_{ik}^{\Phi} \{V_{m2}\} + m_1 \dot{\varepsilon}_{ik}^{\Phi} \{V_{m2}\} + m_0 \varepsilon_{ik}^{\Phi} \{V_{m2}\} = A_B D_{ik} \{V_{m2}\} + A_{ikmn}^{\Phi} \sigma_{mn}^* + M_{ikmn}^{\Phi} \varepsilon_{mn}^{\Phi}. \quad (8)$$

Здесь параметр $D_{ik} \{V_{m2}\}$ вычисляется с помощью формулы:

$$D_{ik} \{V_{m2}\} = \frac{1}{2} \int_{\{\Omega_2\}} f(\Omega) [\alpha_{ik}(\Omega) \alpha_{kl}(\Omega) + \alpha_{il}(\Omega) \alpha_{k3}(\Omega)] d_{3l}(\Omega) d\Omega. \quad (9)$$

В уравнения (8) входят тензорные параметры, характеризующие эволюцию структуры на макромасштабном уровне: A_{ikmn}^{Φ} , M_{ikmn}^{Φ} и ε_{mn}^{Φ} , σ_{mn}^* . Здесь A_{ikmn}^{Φ} – кинетические коэффициенты структурной податливости, M_{ikmn}^{Φ} – кинетические коэффициенты структурной памяти формы, σ_{mn}^* – эффективное напряжение. Обозначенные параметры являются функционалами, зависящими от истории нагружения во времени и в пространстве напряжений (или деформаций), и рассчитываются по методике, изложенной в [2] при выводе определяющих соотношений для макромасштабного уровня.

В рамках данной модели прогнозируются основные функционально-механические свойства материалов с эффектом памяти формы с учетом волнового характера деформаций, инициируемых мартенситными превращениями.

Для решения практических задач инженерной механики требуются дополнительные уравнения, учитывающие пространственное расположение объемов V (рассмотрение масштабного уровня макро-2), т.е. традиционные статические и геометрические уравнения краевой задачи механики, а также начальные и краевые условия для соответствующих переменных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малинин, В.Г. Структурно-аналитическая мезомеханика деформируемого твердого тела [Текст] / В.Г. Малинин, Н.А. Малинина // Физическая мезомеханика. – 2005. – №23. – С. 31-45.
2. Малинин, В.Г. Механические свойства материалов с эффектом памяти формы при сложных режимах изотермического нагружения [Текст] / В.Г. Малинин, Н.А. Малинина, Г.В. Малинин // Приложение к Инженерному журналу: Справочник. – Москва: Машиностроение, 2002. – №10. Ч. 1. – 27 с.; №10. – Ч. 2. – 25 с.
3. Малинина, Н.А. Мезомеханика сред с мартенситными превращениями [Текст] / Н.А. Малинина, Г.В. Малинин // Сборник научных статей к 75-летию со дня рождения В.В. Петрова «Успехи строительной механики и теории сооружений». – Саратов, 2010. – С. 163-173.
4. Панин, В.Е. Основы физической мезомеханики [Текст] / В.Е. Панин // Физическая мезомеханика. – 1998. – №1. – С. 5-22.

Малинин Владислав Георгиевич

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Динамика и прочность машин»

Малинин Георгий Владиславович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Динамика и прочность машин»

Тел.: +7 920 829 24 58

E-mail: malinin2002@yandex.ru

MALININ V.G., MALININ G.V.

**VARIANT OF STRUCTURALLY-ANALYTICAL
MESOMECHANICS, CONSIDERING WAVE CHARACTER
OF THE DEFORMATIONS INITIATED MARTENSITIC
TRANSFORMATIONS**

In given article develops structurally-analytical mesomechanical for environments with martensitital the mechanism carry of weight. For the first time the wave equations for the description of process of the deformations initiated martensitital by transformations on mesa and macro scale levels are removed.

Keywords: *structurally-analytical mesomechanics; martensitital transformations; the wave equations; micro, mesa and macro scale levels.*

BIBLIOGRAPHY

1. Malinin, V.G. Strukturno-analiticheskaja mezomehanika deformiruемого tverdogo tela [Tekst] / V.G. Malinin, Malinina N.A. // Fizicheskaja mezomehanika. – 2005. – №23. – S. 31-45.
2. Malinin, V.G. Mehanicheskie svojstva materialov s jeffektom pamjati formy pri slozhnyh rezhimah izotermicheskogo nagruzhenija [Tekst] / V.G. Malinin, N.A. Malinina, G.V. Malinin // Prilozhenie k Inzhenernomu zhurnalu: Spravochnik. – Moskva: Mashinostroenie, 2002. – №10. Ch. 1. – 27 s.; №10. – Ch. 2. – 25 s.
3. Malinina, N.A. Mezomehanika sred s martensitnymi prevrachenijami [Tekst] / N.A. Malinina, G.V. Malinin // Sbornik nauchnyh statej k 75-letiju so dnja rozhdenija V.V. Petrova «Uspehi stroitel'noj mehaniki i teorii sooruzhenij». – Saratov, 2010. – S. 163-173.
4. Panin, V.E. Osnovy fizicheskaj mezomehaniki [Tekst] / V.E. Panin // Fizicheskaja mezomehanika. – 1998. – №1. – S. 5-22.

Malinin Vladislav Georgiyevich

State university – educational-science-production complex, Orel

Doctor of physical and mathematical sciences, professor, head of department «Dynamics and strenght of material»

Malinin George Vladislavovich

State university – educational-science-production complex, Orel

Candidate of technical science, associate professor of department «Dynamics and strenght of material»

Ph.: +7 920 829 24 58

E-mail: malinin2002@yandex.ru

УДК 004.78:656.13

ГОЛЕНКОВ В.А., БАКАЕВА Н.В., ШИШКИНА И.В.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА НА ОСНОВЕ БИОСФЕРОСОВМЕСТИМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Построен критерий экологической безопасности автотранспортной инфраструктуры системы жизнеобеспечения городского хозяйства и реализован алгоритм расчета показателя биосферной совместимости урбанизированной территории на примере автотранспортного предприятия. В зависимости от полученного расчетного значения предложена новая классификация объектов автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства, которая может быть положена в основу разработки рекомендаций по экологической реконструкции. Составлена картографическая информация о расположении объектов автотранспортной инфраструктуры с указанием классов их экологической безопасности и выполнен анализ экологической ситуации на примере одного из городов.

***Ключевые слова:** урбанизированная территория, городское хозяйство, автотранспортная инфраструктура, биосферная совместимость, критерий экологической безопасности, класс экологической безопасности.*

Проблема повышения экологической безопасности промышленного, гражданского, городского и транспортного строительства становится все злободневнее и выходит за рамки принятия конкретных инженерно-технических мероприятий и программ.

Одним из наиболее значимых направлений решения данной проблемы является снижение загрязнения окружающей природной среды отходами, образующимися от подвижных и стационарных источников объектов транспортного назначения как составной части городского хозяйства. На сегодняшний день автотранспорт и объекты автотранспортной системы создают порядка 70...80% всех отходов и выбросов, а в мегаполисах и крупных городах – все 90%, превращая их в центры основных экологических проблем [1].

Существующая на сегодняшний день система регламентации состояния окружающей среды базируется на санитарно-гигиенических нормативах и, учитывая многокомпонентность выбросов автотранспорта, делает неэффективным контроль за соблюдением регламентов по каждому отдельному ингредиенту. Известные методы анализа, качественной и количественной оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) не позволяют в полной мере оценить негативное техногенное влияние. Все это определяет необходимость разработки новых критериев оценки экологической безопасности автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства, основой которых могут стать количественные нормативные соотношения между потребностями людей и техносферы в ресурсах биосферы и возможностью биосферы удовлетворять эти потребности.

Теоретической основой решения поставленной задачи является парадигма биосферной совместимости, в основе которой лежит теория гомеостатического взаимодействия природы, общества и человека, т.е. способности открытой системы восстанавливать утраченное равновесие в соответствии с природными закономерностями и потребностями общества [2, 3]. В качестве биосферосовместимых технологий при обеспечении экологической безопасности городской среды и экологической реконструкции территорий городской застройки признаются лишь те, которые не наносят вреда окружающей среде и увеличивают потенциал жизни чистой биосферы при их применении.

В качестве критерия экологической безопасности предлагается показатель биосферной совместимости урбанизированной территории [4], учитывающий балансовые соотношения между фактическими параметрами биосферы и техносферы, значение которого можно представить в виде коэффициента [5]:

$$\eta_{ATC} = \sum_k \sum_i [(B_{ik} - Z_{ik})], \quad (1)$$

где B_{ik} – количественное значение части биосферы при воздействии на нее k -ых элементов автотранспортной инфраструктуры (далее АТС); Z_{ik} – количественное значение i -ых загрязняющих веществ (ЗВ), образующихся от воздействия k -ых элементов АТС с максимальными концентрациями, допускающими развитие (МКДР) территорий.

Количественное значение части биосферы B_{ik} для АТС определяется по формуле:

$$B_{ik} = \frac{S_{iB}}{S_{ik}} \cdot \xi_{ik} \cdot K_{oz}, \quad (2)$$

где $\frac{S_{iB}}{S_{ik}}$ – относительное значение требуемой площади единицы биосферы по отношению к

площади элемента АТС, необходимой для нейтрализации i -ых ЗВ от воздействия k -ых элементов АТС до уровня МКДР, m^2 ; ξ_{ik} – коэффициент однородности биосферы, учитывающий различные интенсивности выбросов и возможность приведения их к одному источнику; K_{oz} – коэффициент озеленения территории.

В свою очередь, количественное значение i -ых ЗВ, образующихся от воздействия k -ых элементов АТС, рассчитывается по формуле:

$$Z_{ik} = (W_{ik} \cdot \chi_{ik} \cdot K_c + \Delta m_{ik} \cdot N_{AT}) \cdot K_{эз} \cdot K_{он} \cdot K_A, \quad (3)$$

где W_{ik} – относительное значение параметра i -ых загрязнений от воздействия k -ых элементов АТС, рассчитываемое для территории распространения ЗВ; χ_{ik} – количество элементов АТС, создающих загрязнения на рассчитываемой территории; K_c – коэффициент, зависящий от наличия нескольких источников загрязнения в радиусе санитарно-защитной зоны и учитывающий синергетический эффект; Δm_{ik} – снижение выбросов i -ого ЗВ от k -ого элемента АТС в результате осуществления природоохранных мероприятий; N_{AT} – количество единиц автотранспорта, на которых произошло снижение ЗВ в выхлопных газах в результате реализации инновационных технологий; $K_{эз}$ – коэффициент экологической значимости территории; $K_{он}$ – коэффициент экологической опасности i -ого ЗВ (коэффициент приведения ЗВ к условным выбросам); K_A – коэффициент, зависящий от стратификации атмосферы.

Относительное значение требуемой площади биосферы, необходимой для нейтрализации i -ых ЗВ от воздействия k -ых элементов АТС может быть определено по формуле:

$$S_{iB} = ((V_{ik} / \chi_{ik}) / K_{ik}), \quad (4)$$

где V_{ik} – объем i -ых ЗВ от k -ых элементов АТС, т/год; χ_{ik} – количество элементов АТС, загрязнение от которых на рассчитываемой территории может быть поглощено биосферой; K_{ik} – количество ЗВ, утилизируемых $1 m^2$ биосферы, т/год.

Значение параметра ЗВ от воздействия k -ых элементов АТС, соотнесенное к зоне распространения ($\Delta S^{распр}_{ik}$) i -ых ЗВ до уровня МКДР, рассчитывается по формуле:

$$W_{ik} = (V_{ik} / (S^{мер}_{ik} + \Delta S^{распр}_{ik})), \quad (5)$$

где $S^{мер}_{ik}$ – площадь загрязненной территории от k -ых элементов АТС в соответствии с радиусом санитарно-защитной зоны, m^2 ; $\Delta S^{распр}_{ik}$ – прирост площади зоны распространения ЗВ до уровня МКДР, m^2 .

Показатель биосферной совместимости урбанизированной территории η является относительной величиной и находится в интервале $0 \leq \eta \leq 1$. При приближении значения показателя биосферной совместимости к единице обеспечивается рост главной производительной силы – биосферы, а в случае приближения к нулю имеет место регрессивное развитие территории, т.е. ее деградация вследствие техногенного загрязнения. Этот показатель был принят в

качестве критерия экологической безопасности автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства. В зависимости от полученного расчетного значения устанавливается один из четырех классов экологической безопасности (таблица 1).

Таблица 1 – Классы экологической безопасности автотранспортной инфраструктуры

Значение показателя биосферной совместимости территории автотранспортной инфраструктуры η_{ATC}	Менее 0,30	0,31-0,55	0,56-0,85	Свыше 0,86
Класс экологической безопасности	IV	III	II	I

Класс экологической безопасности I отражает такое состояние урбанизированной территории, при котором воздействие автотранспортной инфраструктуры и внедрение биосферосовместимых технологий соответствует минимуму ущерба для окружающей среды и обеспечивает комфортность среды жизнедеятельности. Устанавливается в соответствии с четвертой категорией предприятия по воздействию его на атмосферный воздух (когда концентрация загрязняющих веществ не превосходит нормативных значений).

Класс безопасности II характеризует такое состояние урбанизированной территории, при котором воздействие автотранспортной инфраструктуры и внедрение биосферосовместимых технологий обеспечивают приемлемый ущерб для окружающей среды, для устранения которого требуются незначительные материальные и временные ресурсы. Устанавливается в соответствии с третьей категорией предприятия по воздействию его на атмосферный воздух (когда концентрация отдельно взятых загрязняющих веществ превосходит нормативных значений).

Класс безопасности III характеризует такое состояние урбанизированной территории, при котором воздействие автотранспортной инфраструктуры и отсутствие биосферосовместимых технологий обеспечивают значительное техногенное воздействие на окружающую среду и дискомфорт среды жизнедеятельности, на устранение которых потребуются значительные ресурсы, время и внедрение инновационных программ развития. Устанавливается в соответствии со второй категорией предприятия по воздействию его на атмосферный воздух (когда концентрация практически всех загрязняющих веществ превосходит нормативные значения).

Класс безопасности IV характеризует такое состояние урбанизированной территории, при котором воздействие автотранспортной инфраструктуры и отсутствие биосферосовместимых технологий обеспечивают максимальный ущерб для окружающей среды, ее деградацию и регрессивное развитие территории в целом. Устанавливается в соответствии с первой категорией предприятия по воздействию его на атмосферный воздух (когда концентрация всех загрязняющих веществ или отдельно взятых значительно превосходит нормативные значения). Данный класс безопасности не допустим, территория является зоной экологического риска или зоной чрезвычайной ситуации, требует принятия безотлагательных мер.

С учетом предложенного критерия в зависимости от присвоенного класса экологической безопасности объектам автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства могут быть даны заключения в виде рекомендаций по их экологической реконструкции и возможности на этом основании перевода конкретного объекта в категорию экологически безопасного.

Расчет показателя биосферной совместимости был выполнен применительно к объектам автотранспортной инфраструктуры г. Орла, определенного официальными источниками информации как города с благоприятной экологической обстановкой. Исходные данные к расчету были определены в ходе проведения инвентаризации выбросов от стационарных источников загрязнений. В качестве примера приведем расчет применительно к станции технического обслуживания автомобилей ЗАО «Орелоблавтотехобслуживание».

Ситуация в районе ул. Ливенской усугубляется не только функционированием рассматриваемого предприятия, но и образованием зон наложения загрязняющих веществ (ЗВ) (рис. 2 поз. 4) ввиду взаимодействия выбросов сразу нескольких предприятий: АЗС, ПАТП-1, ОАО «Орелавтотранссервис» и автосалона «Daewoo». Поэтому, целесообразно в расчетах принимать прирост площади территории распространения ЗВ до уровня МКДР (рис. 2 поз. 2).

Общая площадь территории $S^{тер}$, занимаемой предприятием и его инфраструктурой в пределах радиуса санитарно-защитной зоны, составляет 8968 м². Прирост площади составил 3000 м².

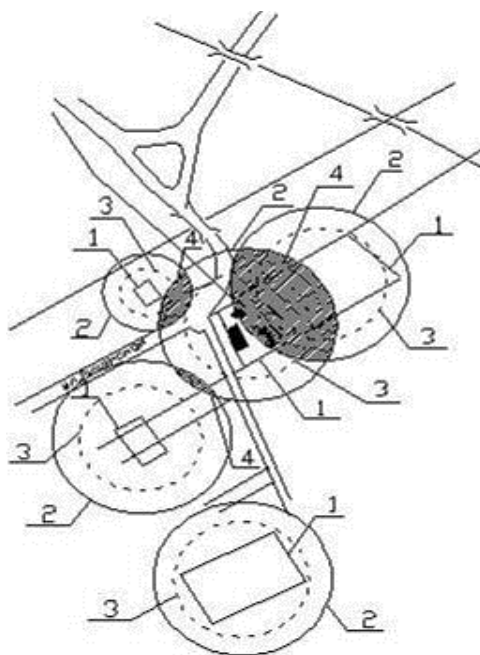


Рисунок 2 – Схема распространения загрязнений в районе ЗАО «Орелоблавтотехобслуживание» по ул. Ливенской: 1 – источники ЗВ; 2 – границы распространения ЗВ при существующих технологиях до уровня МКДР; 3 – границы распространения ЗВ при применении природоохранных мероприятий и внедрении биосферосовместимых технологий; 4 – зоны наложения ЗВ от нескольких источников

На территории ЗАО «Орелоблавтотехобслуживание» выявлено 24 источника загрязнения атмосферы. Среди них: пост диагностирования, уборочно-моечный участок, зона технического осмотра и ремонта, кузовной участок, малярный участок, склад и открытые стоянки.

Согласно отчетности в год предприятием обслуживается по всем участкам в среднем 6 000 легковых автомобилей с бензиновыми и дизельными двигателя внутреннего сгорания.

Расчет валовых и максимально разовых выбросов ЗВ производился с использованием удельных показателей, т.е. количества выделяемых ЗВ, приведенных к единице используемого оборудования рабочих постов согласно методическим указаниям [6]. Установили, что в атмосферу попадает 19 ингредиентов ЗВ, среди которых наиболее характерными являются: оксид углерода – CO, углеводороды – CH, оксид азота – NO_x в пересчете на диоксид азота – NO₂, твердые частицы – С, соединения серы в пересчете на диоксид серы – SO₂ и соединения свинца – Pb.

Эффектом суммации обладают: азота диоксид, свинец и его соединения, ангидрид сернистый и фтористый водород. Сумма всех выбросов по предприятию составляет 1,409374 т/год.

Значение показателя биосферной совместимости для ЗАО «Орелоблавтотехобслуживание» определяется из соотношения [5]:

$$\eta_{ATC} = \sum_1^{24} \sum_1^{19} \left(\frac{S_{iБ}}{S_{ik}} \cdot \xi_{ik} \cdot K_{эз} \right) - ((W_{ik} \cdot \chi_{ik} \cdot \gamma_{ik} + \Delta m N_{ATC}) K_{эз} K_{on} K_c) = \left(\frac{5,59}{4} \cdot 1,0 \cdot 0,3 \right) - (0,08) = 0,42 - 0,08 = 0,34.$$

Предложенный критерий экологической безопасности позволяет давать оценку биосферной совместимости урбанизированной территории и степени негативного воздействия объектов автотранспортной инфраструктуры на окружающую среду. Расчетные значения показателя в виде граничных значений могут стать основой для реформирования действующей

нормативно-правовой базы, т.к. традиционные методы оценки экологической безопасности (с учетом ПДК, ПДВ и т.д.) в отличие от показателя биосферной совместимости территории определяют степень загрязненности рассматриваемых территорий, но не учитывают синергетического эффекта от нескольких источников загрязнений и возможность биосферы к самовосстановлению.

Выполненные экспериментальные исследования и численные расчеты показали, что для большинства автотранспортных предприятий и предприятий дорожного сервиса (две трети обследуемых) значения этого показателя достаточно низкие (менее 0,56), что обусловлено практически полным отсутствием внедрения биосферосовместимых технологий.

На рисунке 2 схематично изображены объекты автотранспортной инфраструктуры на карте Железнодорожного района г. Орла с указанием класса экологической безопасности, определенного в ходе численных исследований. Очевидно, что экологическая ситуация в городе определяется, в основном, объектами опасными по своей производственной деятельности для окружающей среды.

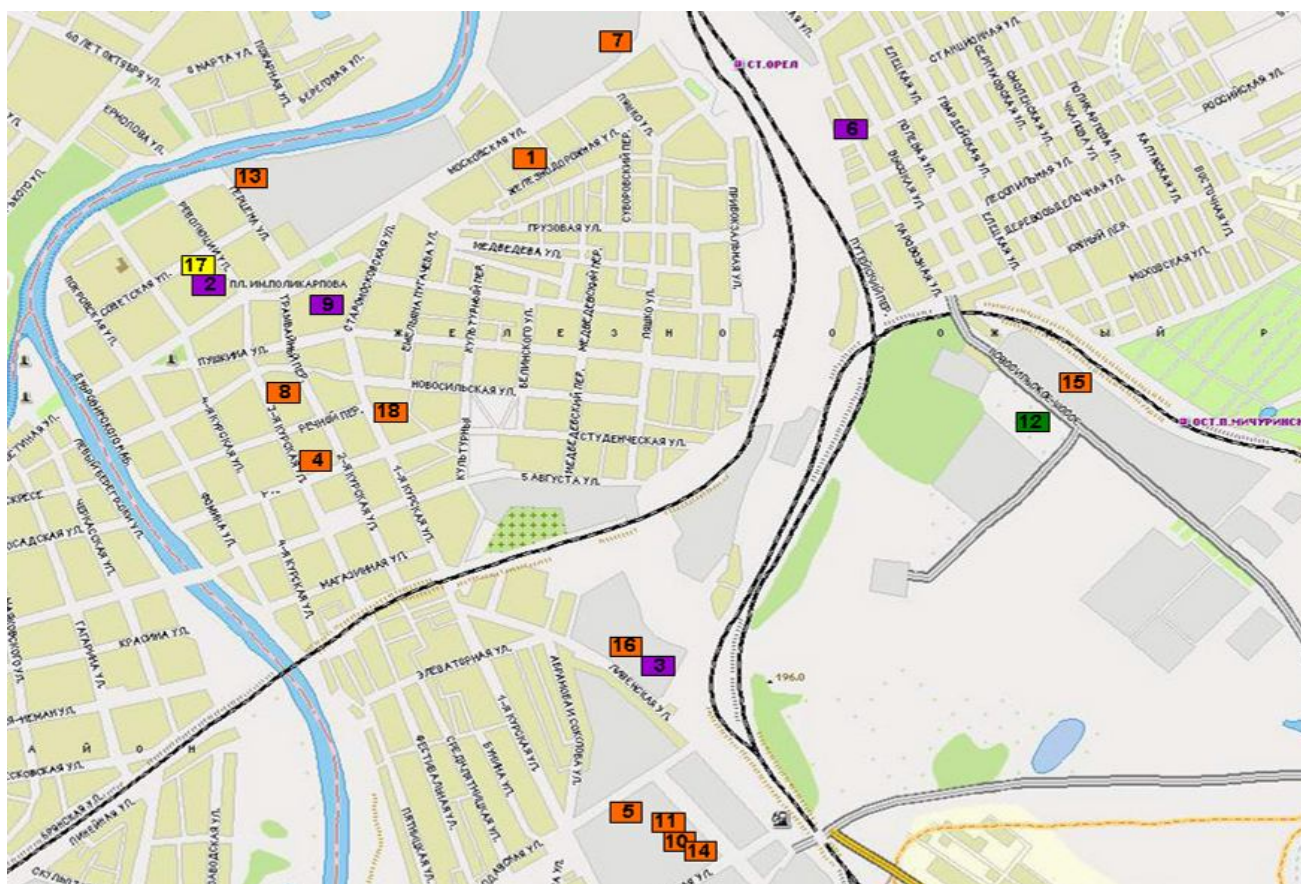


Рисунок 2 – Схема расположения объектов автотранспортной инфраструктуры Железнодорожного района г. Орла с указанием классов их экологической безопасности

- | | |
|--|---|
| - I класс безопасности | - III класс безопасности |
| - II класс безопасности | - IV класс безопасности |

Информация о таких объектах как градообразующих может найти отражение в территориальных нормах градостроительного проектирования. Наличие в регионе заинтересованных в решении обозначенных проблем профессиональных объединений строителей, архитекторов, градостроителей и работников автомобильного транспорта и учет ими сведений о расположении потенциально опасных объектов автотранспортной инфраструктуры будут способствовать формированию перспективных предложений по корректировке генеральных планов и планов экологической реконструкции урбанизированных территорий автотранспортной инфраструктуры.

Таким образом, в зависимости от полученного расчетного значения предложена новая классификация объектов автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства, на основе которой целесообразно принятие управляющих решений и разработка рекомендаций по экологической реконструкции.

Рекомендации по обеспечению экологической безопасности автотранспортной инфраструктуры системы жизнеобеспечения городского хозяйства, включают целый ряд административных, технических и градостроительных действий, направленных на:

- обеспечение качества окружающей среды в соответствии с действующей нормативно-правовой базой и доведение уровня защиты селитебных и рекреационных территорий от транспортного шума, отработавших газов двигателей внутреннего сгорания и других видов негативного воздействия объектов автотранспортной инфраструктуры до уровня, гарантированного государством в результате природоохранных мероприятий;

- повышение степени планировочной упорядоченности, структуризации улично-дорожной сети и объектов автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства в соответствии с концепцией транспортного обслуживания населения;

- снижение опосредованного влияния загрязнения окружающей среды на здоровье населения и обеспечение социальной защищенности городского населения при удовлетворении рациональных потребностей в качественных и безопасных транспортных услугах.

В целом рекомендации по обеспечению экологической безопасности автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства представляют собой последовательность действий, основой которых в соответствии с системой, предложенной академиком В.А. Ильичевым, является применение биосферосовместимых технологий, включающую в себя следующие этапы (рис. 3).

<p>1 Выбор стратегического направления функционирования АТС города на основе единения техносферы и окружающей природы</p>	<p>4 Законодательное и нормативное закрепление предложенных критериев оценки экологической безопасности, в т.ч. и в виде балансовых соотношений</p>	<p>7 Удовлетворение рациональных потребностей человека через функции города и подфункции автотранспортной составляющей.</p>
<p>2 Мониторинг качества городской среды от воздействия автомобильного транспорта и сопоставление объема загрязнений и потребления природных ресурсов и качества жизни</p>	<p>5 Разработка инновационных программ развития отрасли на основе биосферосовместимых технологий и их реализация посредством соответствующих механизмов управления</p>	<p>8 Установление межотраслевых и межсистемных функциональных связей, взаимодействия и сотрудничества профессиональных объединений</p>
<p>3 Составление количественных балансовых соотношений между: 1) элементами АТС как местами удовлетворения потребностей, 2) человеческим потенциалом и 3) потенциалом биосферы и разработка критериев оценки</p>	<p>6 Оценка эффективности программных мероприятий экологической реконструкции объектов автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства с точки зрения развития человека</p>	<p>9 Анализ, выводы и получение новых знаний о правильности выбранных направлений стратегического развития автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства</p>

Рисунок 3 – Схема реализации предложенных мероприятий по обеспечению экологической безопасности автотранспортной инфраструктуры системы жизнеобеспечения городского хозяйства

Отдельной строкой в системе мероприятий по обеспечению экологической безопасности автотранспортной инфраструктуры системы жизнеобеспечения городского хозяйства сле-

дует выделить предложения к программам инновационного развития автотранспортной системы городов.

С учетом разработанных рекомендаций появляется возможность прогнозировать результативность предлагаемых мероприятий по обеспечению экологической безопасности автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства, гарантированной защиты селитебных и рекреационных зон от загрязнения ингредиентными выбросами, а также достижение определенного социального эффекта в соответствии с технической политикой транспортного обслуживания городского населения и обеспечением хозяйственно-деловых и потребительских перевозок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакаева, Н.В. Экологические риски при обслуживании автомобилей [Текст] / Н.В. Бакаева // Мир транспорта. – М., 2009. – № 3. – С. 134-139.
2. 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.
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. Ильичев, В.А. Некоторые вопросы проектирования поселений с позиции концепции биосферной совместимости [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, А.В. Берсенева, А.Л. Поздняков. – Academia, 2009. – №1. – С. 50-57.
5. Бакаева, Н.В. Построение системы оценочных показателей и расчет показателя биосферной совместимости территориальной автотранспортной системы [Текст] / Н.В. Бакаева, И.В. Шишкина // Вестник Московского государственного строительного университета (МГСУ), 2011. – №3. – Т 1. – С. 434-443.
6. Методика инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий [Текст]. – М., 1991.

Голенков Вячеслав Александрович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Доктор технических наук, профессор, ректор
Тел.: +7 (4862) 42-00-24

Бакаева Наталья Владимировна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство автомобильных дорог»
Тел.: +7 (4862) 73-43-67
E-mail: natbak@mail.ru

Шишкина Ирина Викторовна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет — учебно-научно-производственный комплекс»
Ассистент кафедры «Строительство автомобильных дорог»
Тел.: +7 (4862) 73-43-67
E-mail: schunya87@yandex.ru

GOLENKOV V.A., BAKAEVA N.V., SHISHKINA I.V.

THE BASIC DIRECTIONS OF MAINTENANCE OF ECOLOGICAL SAFETY OF THE MOTOR TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE OF MUNICIPAL ECONOMY ON THE BASIS OF BIOSPHERIC COMPATIBILITY TECHNOLOGIES

The criterion of ecological safety of a motor transportation infrastructure of a life-support system of municipal economy is constructed. Depending on the received settlement value new classification of objects of a motor transportation infrastructure of municipal economy on which basis working out of recommendations about their ecological reconstruction is necessary is offered. The algorithm of calculation of an indicator of biospheric compatibility of territory of the motor transportation enterprise is

realized. The scheme of an arrangement of objects of a motor transportation infrastructure as on an example of a city with favorable ecological with instructions of classes of their ecological safety is shown.

Keywords: *urbanizing territory, городское хозяйство, motor transportation system, biosphere compatibility, критерий экологической безопасности, grade of ecological safety.*

BIBLIOGRAPHY

1. Bakaeva, N.V. Jekologicheskie riski pri obsluzhivanii avtomobilej [Tekst] / N.V. Bakaeva // Mir transporta. – M., 2009. – № 3. – S. 134-139.
2. Il'ichev, V.A. Principy preobrazovaniya goroda v biosferosovmestimyj i razvivajuuj cheloveka [Tekst] / V.A. Il'ichev // Nauchno-tehnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal «Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo». – M.: OOO «Izdatel'stvo PGS». – 2010. – №6. – S. 3-13.
3. Il'ichev, V.A. Mozhet li gorod byt' biosferosovmestimym i razvivat' cheloveka? [Tekst] / V.A. Il'ichev // Arhitektura i stroitel'stvo Moskvy. – 2009. – № 2 (544). – S. 8-13.
4. Il'ichev, V.A. Nekotorye voprosy proektirovaniya poselenij s pozicii koncepcii biosfernoj sovmestimosti [Tekst] / V.A. Il'ichev, V.I. Kolchunov, A.V. Bersenev, A.L. Pozdnjakov. – Academia, 2009. – №1. – S. 50-57.
5. Bakaeva, N.V. Postroenie sistemy ocenochnyh pokazatelej i raschet pokazatelja biosfernoj sovmestimosti territorial'noj avtotransportnoj sistemy [Tekst] / N.V. Bakaeva, I.V. Shishkina // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta (MGSU), 2011. – №3. – T 1. – S. 434-443.
6. Metodika inventarizacii vybrosov zagrjaznjajuviuh vewestv v atmosferu dlja avtotransportnyh predpriyatij [Tekst]. – M., 1991.

Golenkov Vyacheslav Aleksandrovich

State university – educational-science-production complex, Orel
Doctor of technical science, professor, rector
Ph.: +7 (4862) 42-00-24

Bakaeva Natalia Vladimirovna

State university – educational-science-production complex, Orel
Candidate of technical science, associate professor of department «Building of highways»

Shishkin Irina Viktorovna

State university – educational-science-production complex, Orel
Assistant to department «Building of highways»
Ph.: +7 (4862) 73-43-67
E-mail: schunya87@yandex.ru

КОСЬКИН А.В., АРХИПОВ О.П., ИВАЩУК О.А.,
ПИЛИПЕНКО О.В., САВИНА О.А.

БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНЫМ «УМНЫМ ГОРОДОМ» И МЕХАНИЗМЫ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ

В статье рассматриваются вопросы построения автоматизированной системы управления умным городом (АСУ УГ). Проведен краткий анализ имеющихся решений. Подчеркнута важная роль системы оказания электронных услуг населения при функционировании «умного города». Сформулированы базовые принципы построения АСУ УГ, механизмы их реализации, основные требования к АСУ УГ.

Ключевые слова: умный город, автоматизированная система управления, принципы построения АСУ умным городом, основные требования к АСУ.

Введение

С целью обеспечения реальных благоприятных условий для устойчивого социально-экономического развития современных государств, самодостаточности их социокультурного пространства, инноваций, инвестиций, привлечения и сохранения кадрового потенциала создана и активно развивается идеология «умный город» («Smart City»). Ее основные направления связаны с реализацией управления всеми функциями города на основе современных технологий, особое место среди которых занимают информационно-коммуникационные технологии, позволяющие связать воедино всю сложную систему, называемую «умный город» [1].

Первые проекты были реализованы за рубежом (США, Китай, Европа) и связаны с разработкой и внедрением отдельных составляющих общей интеллектуальной сети управления «умным городом». Это интеллектуальные частные инженерные системы, позволяющие рационально использовать источники энергии и минимизировать воздействие на окружающую среду; «умные» благоустроенные общественные зоны; интеллектуальные системы в сфере образования, здравоохранения, реализации услуг и т.п. В различных регионах Российской Федерации также реализуются отдельные проекты, такие как, например, использование в Белгороде и Нижнем Новгороде автоматизированной системы, позволяющей контролировать состояние электросетей, вести учет энергопотребления, дистанционно управлять режимами освещения; появление в Уфе «умных» перекрестков и «умных» дорожных знаков в Красноярске и др.

Однако все созданное на настоящий момент – это не комплексное решение идеи «умный город», а точечные фрагменты.

Следует особо сделать акцент на то, что для реального вовлечения инвестиций, инноваций и талантливых людей из различных сфер экономики и науки, необходимо, чтобы «умный город» не просто отвечал современным требованиям использования природных и энергетических ресурсов, экологическим стандартам, благоустройства и безопасности его территории. Он должен обеспечивать максимально благоприятный климат для развития человека (его интеллекта, творчества, культурного уровня и т.д.), возможность комфортной эффективной работы, минимальные временные и людские затраты на получение услуг любого вида, что, в свою очередь, выведет экономику города и страны в целом на принципиально новый уровень развития. Таким образом, необходимо не только внедрение инноваций при строительстве «умного города», организации его жизнеобеспечения, образования и создания новых рабочих мест, но и обеспечение инновационного подхода при организации использования интеллектуального ресурса города.

Вышесказанное определяет, что «умный город» должен обеспечивать максимально высокий уровень качества жизни проживающих и работающих в нем людей. Это, прежде всего,

связано с обеспечением возможности максимально эффективного доступа физических и юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, жителей города и его гостей, граждан страны и иностранных граждан к любому виду информации и услугам, которые оказываются как государственными структурами, так и организациями всех форм собственности из различных областей народного хозяйства, индивидуальными предпринимателями.

Для решения поставленной задачи необходимо использование самых современных средств, инструментов и методов информационных технологий, требуется разработка интеллектуальной автоматизированной системы управления «умным городом» (АСУ УГ).

В настоящее время в городах России для обеспечения эффективной социальной инфраструктуры и промышленного развития с возможностью создания своей внутренней экономики органы местного самоуправления, государственной власти и бизнес вкладывают значительные средства в реконструкцию электрических и тепловых сетей, ремонт дорог, экологизацию производственных объектов, строительство и развитие жилых, коммерческих, торговых и развлекательных комплексов и т.д.

Однако в целом не удается достичь принципиального изменения качества жизни людей, что, прежде всего, связано с неприспособленностью существующей городской системы, созданной на основе идеологии «люди для предприятий», «люди для города».

С нашей точки зрения ключевым условием функционирования «умного города» является повсеместное использование электронных услуг населению, которые в полной мере обеспечивают высокое качество жизни населения и благоприятные условия для инноваций и ведения бизнеса [2]. При этом следует отметить, что в тех регионах, где объявлено о возможности реализации электронных услуг населению, это, во-первых, только услуги, входящие в обязательные перечни государственных и муниципальных услуг и не охватывающие широкий спектр услуг, необходимых населению в повседневной жизни. Во-вторых, функция взаимодействия органов управления и пользователей реализована существенно слабее, чем информационно-справочная. Кроме того, не сведены в единую сеть информационные ресурсы различных органов и уровней власти и управления.

Крайне актуальным для эффективной реализации всех функций «умного города» является создание, внедрение и обеспечение эффективного сопровождения особого бизнеса – бизнеса, который, используя передовые информационные и телекоммуникационные технологии, обеспечит широкомасштабный выход на рынок услуг профессиональных ресурсов их поставщиков с одной стороны, и возможность расширить спектр и повысить качество услуг, предоставляемых потребителям, с другой. Соответственно, необходимо создание развитой и адекватной инфраструктуры этого бизнеса, что требует, в свою очередь, активного вовлечения интеллектуального ресурса страны и международного рынка, прежде всего, молодых специалистов, обладающих необходимыми знаниями и навыками в области управления, юриспруденции, экономики, современных информационных и телекоммуникационных технологий. Это позволит реализовать на практике принципиально новый подход – «город для людей» [3].

Следует особо отметить тот факт, что спектр услуг, необходимых населению «умного города» будет постоянно расширяться, а его структура – изменяться, таким образом, одной из важнейших функций бизнеса предоставления электронных услуг будет являться обеспечение возможности оперативного и эффективного конструирования и реализации новых услуг [2].

Это связано с созданием и организацией практического функционирования автоматизированной системы управления (создания, сопровождения и реализации) электронными услугами населению «умного города» как важнейшей составляющей интеллектуальной сети управления «умным городом». Она включает управление заказами, процессами взаимодействия объектов и субъектов предоставления услуг, согласование действий всех участников процесса, управление базами и банками данных, сопровождение, мониторинг за ходом реализации услуги, генерирование новых услуг и т.д.

Как видно из представленного выше далеко не полного функционального перечня, наделение АСУ ИУГ только функциями рационального потребления и использования материальных и энергетических ресурсов с минимизацией воздействия на окружающую среду явля-

ется недостаточным. Это лишь часть задач системы. Только при обеспечении интегрированного интеллектуального автоматизированного управления всеми вышеуказанными направлениями создается возможность обеспечения высокого качества жизни населения «умного города», внедрения инновационных технологий, интеграции с бизнесом других регионов и стран, высокой результативности функционирования локальной экономики города, всех бизнес-структур города, их глубокое проникновение во все сферы жизнедеятельности.

Итак, основной целью АСУ УГ является обеспечение эффективного согласованного функционирования совокупности технологических, организационно-технических и социально-экономических комплексов для создания пространства с наиболее рациональным использованием и развитием интеллектуальных, производственных и природно-энергетических ресурсов.

Базовые принципы построения автоматизированной системы управления «умным городом» и механизмы их реализации

Базовые принципы построения и обеспечения эффективного функционирования АСУ УГ можно разделить на четыре группы:

I. Экономико-управленческие:

- принцип бюджетирования, ориентированного на конкретные конечные результаты;
- принцип научной обоснованности принимаемых управленческих решений;
- принцип развития и интеграции систем управления финансами и ресурсами, учета и отчетности;
- принцип согласованности и целостности управляющих воздействий;
- принцип обеспечения честности и этики бизнеса.

II. Социальные:

- принцип приоритетности обеспечения высокого качества жизни населения «умного города», обеспечения его безопасности перед другими социально-экономическими и производственными задачами;
- принцип демократизма, который нацелен на обеспечение широкого участия городского населения в принятии решений муниципального значения;
- принцип приоритетности раскрытия и развития способностей и талантов людей;
- принцип гарантированности работы, приносящей моральное и материальное удовлетворение.

III. Организационно-технические:

- принцип единства стратегического планирования и тактического управления экономикой и социальной сферой;
- принцип постоянного совершенствования системы, модернизации механизмов и технологий управления;
- принцип недопустимости зон безответственности;
- принцип адаптивности и мобильности;
- принцип своевременной реакции на изменения в окружающей среде
- принцип лояльности к новым идеям и технологиям.

IV. Экологические:

- обеспечение экологической безопасности нынешнего и будущих поколений жителей инновационного «умного города»;
- принцип единения города и окружающей природы;
- использование наилучших из существующих технологий (с учетом экономических и социальных факторов) для обеспечения снижения негативного воздействия на окружающую среду.

В основе реализации экономико-управленческих принципов лежит совершенствование и развитие механизмов финансирования на базе инновационно-инвестиционного фонда. Это обеспечивает рациональное сочетание административных и нормативно-правовых методов управления городом с экономической свободой и частно-государственной поддержкой бизнеса.

Реализация социальных принципов основана на электронных интерактивных средствах обмена информацией, социальных опросах населения, выявлении тенденций общественного сознания и т.д.

Основой реализации организационно-технических принципов является создание единого информационно-технологического пространства (единой информационной среды с «личным кабинетом», системы общественного доступа к электронным ресурсам, развитой системы коммуникаций и т.д.). При этом активно используются инновационные механизмы интеграции баз данных на основе единых форматов и технологий обработки информации, механизмы, реализуемые специализированными операторскими центрами в единой сети передачи данных. Развитие информационного обеспечения управления «умным городом» должно осуществляться за счет создания единой информационной среды и аналитических информационных систем для поддержки управления развитием и регулирования процессов жизнеобеспечения.

Реализация экологических принципов включает в себя развитие нормативно-правовой базы, экономический и финансовый механизмы, систему экологического мониторинга и контроля, проведение научных исследований в целях более глубокого понимания экологических проблем и поиска путей их решения, формирования общественного экологического сознания.

Основные требования к АСУ УГ: реализация стратегического и оперативного управления; адекватность изменениям параметров состояния города и внешней среды; предупреждение чрезвычайных ситуаций и обеспечение возможности управления при их возникновении; необходимость учета развития социокультурного пространства; обеспечение координации и интеграции функционирования компонентов системы; экономичность и рациональность осуществляемых управляющих воздействий.

Разработка системы должна основываться на основных принципах проектирования: экономико-управленческих, социальных, организационно-технических, экологических.

Разрабатываемая система предполагает наличие в своем составе следующих компонентов: объект управления системы, интеллектуальная управляющая система, система интеллектуального мониторинга, исполнительная система.

Должны быть выполнены следующие основные этапы: разработка технического задания, разработка техно-рабочего проекта, отладка, опытная эксплуатация и ввод в промышленную эксплуатацию.

Должны быть выполнены следующие основные требования, гарантирующие качество работы системы управления: электронное документирование жизненного цикла системы, оценка соответствия реальных процессов документированным требованиям, персональная ответственность, ориентация на потребителя, использование процессного подхода, применение системного подхода, постоянное улучшение деятельности, принятие решений, основанных на анализе объективных данных.

Основные требования к техническим средствам системы управления: общность функциональности и использования, использование открытых стандартов (и интерфейсов), технологическая нейтральность, стабильность функционирования и наличие технической поддержки, преемственность, постоянная работоспособность, достаточная нагрузочная способность, «дружественный» пользовательский интерфейс, гибкость структуры, промышленное исполнение программно-технических комплексов и автоматизированных рабочих мест.

Ключевое требование по организации и технологии процесса эксплуатации системы управления – эксплуатацию системы должны обеспечивать штатные сотрудники и привлекаемые уполномоченные специалисты органов государственной власти, руководители органов государственной и исполнительной власти, эксперты.

Заключение

На основе комплексного анализа существующих решений по реализации фрагментов «умного города» предложен новый подход к концепции автоматизированной системы управления «умным городом», объектом которой может быть населенный пункт или муниципальное образование любого вида.

Сформулирована цель создания системы, определены основные принципы построения и механизмы реализации данной АСУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильичев, В.А. Биосферная совместимость: Технологии внедрения инноваций. Города, развивающие человека [Текст] / В.А. Ильичев. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 240 с.
2. Архипов, О.П. Создание бизнеса предоставления электронных услуг населению как одно из ключевых направлений инновационного развития России [Текст] / О.П. Архипов, О.А. Ивашук, И.С. Константинов и др. // Информационные системы и технологии. – 2011. – №4 (66). – С. 83-89.
3. Константинов, И.С. Концепция «Создание, сопровождение и реализация электронных услуг населению» (проект) [Текст] / И.С. Константинов, А.В. Коськин, О.П. Архипов и др. – Орел: Информ. аг-во «Стерх», 2010. – 16 с.

Коськин Александр Васильевич

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Проректор по информатизации, доктор технических наук, профессор
Тел.: +7 (4862) 41-66-84
E-mail: unpk@ostu.ru

Архипов Олег Петрович

Учреждение Российской академии наук Институт проблем информатики РАН, Орел
Кандидат технических наук, директор
Тел.: +7 (4862) 36-86-84
E-mail: ofran@orel.ru

Ивашук Ольга Александровна

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет», г. Орел
Доктор технических наук, декан факультета гуманитарных и естественнонаучных дисциплин
Тел.: +7 (4862) 76-34-64
E-mail: ivascuk@orel.ru

Пилипенко Ольга Васильевна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Доктор технических наук, профессор, проректор по экономике и финансам
Тел.: +7 (4862) 41-98-34
E-mail: kef@ostu.ru

Савина Ольга Александровна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Доктор экономических наук, профессор кафедры информационных систем
Тел.: +7 (4862) 41-66-84
E-mail: unpk@ostu.ru

KOSKIN A.V., ARHIPOV O. P., IVASHCHUK O.A.,
PILIPENKO O. V., SAVINA O.A.

BASE PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF «THE CLEVER CITY» AND MECHANISMS OF THEIR REALIZATION

In article questions of construction of the automated control system are considered by a clever city (ACS CC). The short analysis of available decisions is carried out. The important role of system of rendering of electronic services of the population is underlined at functioning of "a clever city". Base principles of construction of management information system ACS CC, mechanisms of their realisation, the basic requirements to ACS CC are formulated.

Keywords: *the clever city, the automated control system, principles of construction of the management ACS CC information system a clever city, the basic requirements to the ACS CC.*

BIBLIOGRAPHY

1. Il'ichev, V.A. Biosfernaja sovместimost': Tehnologii vnedrenija innovacij. Goroda, razvivajuwie cheloveka [Tekst] / V.A. Il'ichev. – M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2011. – 240 s.
2. Arhipov, O.P. Sozdanie biznesa predostavlenija jelektronnyh uslug naseleniju kak odno iz ključevykh napravlenij innovacionnogo razvitija Rossii [Tekst] / O.P. Arhipov, O.A. Ivavuk, I.S. Konstantinov i dr. // Informacionnye sistemy i tehnologii. – 2011. – №4 (66). – S. 83-89.
3. Konstantinov, I.S. Koncepcija «Sozdanie, soprovozhdenie i realizacija jelektronnyh uslug naseleniju» (proekt) [Tekst] / I.S. Konstantinov, A.V. Kos'kin, O.P. Arhipov i dr. – Orel: Inform. ag-vo «Sterh», 2010. – 16 s.

Koskin Alexander Vasilevich

State university – educational-science-production complex, Orel
Pro-rector on information, doctor of technical science, professor
Ph.: +7 (4862) 41-66-84
E-mail: unpk@ostu.ru

Arhipov Oleg Petrovich

Oryol branch of institute of problems of computer science of the Russian Academy of Sciences, Orel
Candidate of technical science, director
Ph.: +7 (4862) 36-86-84
E-mail: ofran@orel.ru

Ivashyk Olga Aleksandrovna

Oryol state agrarian university, Orel
Doctor of technical science, dean of faculty of humanitarian and natural-science disciplines
Ph.: +7 (4862) 76-34-64
E-mail: ivascuk@orel.ru

Pilipenko Olga Vasilevna

State university – educational-science-production complex, Orel
Doctor of technical science, professor, pro-rector on economy and finance
Ph.: +7 (4862) 41-98-34
E-mail: kef@ostu.ru

Savina Olga Aleksandrovna

State university – educational-science-production complex, Orel
Doctor of economics, professor, professor of department of intelligence systems
Ph.: +7 (4862) 41-66-84
E-mail: unpk@ostu.ru

УДК 625

АЗАРОВ В.Н., БОРОВКОВ Д.П.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАКРУТКИ ПОТОКА

В статье перечислены причины пылевых отложений в аспирационных системах и, как следствие, понижение эффективности пылеулавливающего оборудования. Приведены и проанализированы решения вышеуказанных проблем, путем применение закрутки потока в воздуховодах систем аспирации, существенно повышающей устойчивость работы систем аспирации при снижении аспирационных объемов.

Ключевые слова: *пыль, строительная индустрия, закрутка потока, система аспирации.*

В ряде случаев при эксплуатации систем аспирации предприятий строительной отрасли с течением времени происходит образование пылевых отложений в воздуховодах аспирационной сети.

Одной из причин образования отложений пыли в воздуховодах систем аспирации строительной индустрии является повышенная адгезионная способность пыли, являющаяся причиной образования коагулянтов, размер которых может существенно превосходить расчетный размер пылевых частиц содержащихся в аспирационном потоке.

Еще одним фактором, обуславливающим образование отложений пылевых частиц в воздуховодах систем аспирации строительных производств, является изменение аспирационного объема, отводимого от аспирируемого оборудования. Подобная ситуация может возникнуть в ряде случаев, таких как:

- отключение некоторого количества единиц аспирируемого оборудования;
- изменение технологической нагрузки на аспирируемое оборудование;
- отключение части пылеулавливающих аппаратов (например, при регенерации рuckавных фильтров).

Учитывая тот факт, что величина аспирационного объема, который необходимо удалить от оборудования для обеспечения его нормальной работы, лежит в определенных пределах и, как правило, регламентирована для большинства видов оборудования. Необходимым условием его надежного и экономичного функционирования является способность системы аспирации обеспечивать проектную величину аспирационного объема.

При снижении объема, проходящего по воздуховодам системы аспирации, происходит уменьшение скорости газового потока. Следствием этого является снижение транспортирующей способности аспирационного потока. Таким образом, при существенном понижении объема аспирационного газа, отводимого от оборудования системой аспирации, может начаться процесс образования пылевых отложений на внутренних поверхностях воздуховодов.

Одним из возможных решений проблемы недостаточной транспортирующей способности газового потока является организация его закрутки. Повышенную способность закрученного газового потока приводить в движение и переносить твердые пылеобразные частицы отмечали в своих работах ряд исследователей [1, 2, 3, 4]. Так, например, в работе [2] описан показательный эксперимент, направленный на сравнительную оценку транспортирующей способности осевого и закрученного потока. В ходе эксперимента на дно протяженного горизонтального воздуховода, по которому протекал незакрученный воздушный поток, помещался пылевидный материал. Скорость потока выбиралась таким образом, чтобы его транспортирующая способность была недостаточной и пылевые частицы оседали на дно воздуховода. За-

тем, без проведения, каких либо дополнительных изменений, к входу воздуховода прикреплялся закручиватель. При этом пылевые частицы, приобретая винтообразную траекторию, уносились со дна воздуховода. Данный пример убедительно доказывает преимущество транспортирования пылевидных частиц по воздуховодам при помощи закрученного потока.

Для организации закрутки потока в воздуховодах систем аспирации наиболее подходят закручивающие устройства тангенциального типа. Выбор тангенциальных закручивающих устройств обусловлен отсутствием внутренних направляющих элементов, подверженных образованию пылевых отложений, а также конструктивной простотой и легкостью изготовления.

В виду того, что снижение аспирационного объема может носить лишь временный характер, применение закручивающих устройств в системах аспирации повлечет за собой неоправданное увеличение затрат энергии при работе системы в режиме полной нагрузки. Этим обусловлена потребность в устройствах, обеспечивающих работу аспирационной сети в режимах аксиального и закрученного потоков.

Для организации закрутки аспирационного потока в воздуховодах аспирационной сети во время работы системы в режиме пониженного расхода аспирационного газа предложен комбинированный тангенциальный отвод – закручиватель, конструкция которого представлена на рисунке 1.

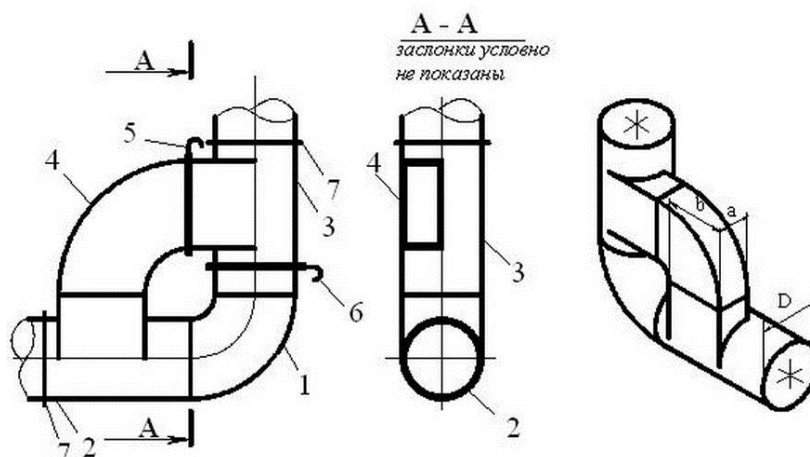


Рисунок 1 – Комбинированный тангенциальный отвод закручиватель:
 1 – отвод; 2 – выходной аксиальный патрубок закручивателя; 3 – входной аксиальный патрубок закручивателя; 4 – тангенциальный патрубок; 5, 6 – заслонки;
 7 – присоединительные фланцы

При работе системы аспирации в основном режиме байпасный патрубок (4) герметично закрыт при помощи заслонки (5), заслонка аксиального патрубка (6) открыта и из выходного патрубка (2) выходит аксиальный аспирационный поток. Для создания закрутки газового потока, проходящего через тангенциальный отвод – закручиватель, заслонка (5) тангенциального патрубка открывается, а заслонка (6) аксиального патрубка переводится в закрытое положение.

Применение комбинированного тангенциального отвода – закручивателя обеспечивает значительную (от 20 до 60%) по сравнению с тангенциальным отводом экономию энергии в режиме номинального расхода аспирационного газа. Это достигается за счет работы системы в режиме незакрученного потока при достаточных для транспортирования пылевых частиц скоростях. В режиме сниженного расхода энергопотребление системы с предлагаемым закручивающим устройством на 5...14% больше такового значения при использовании тангенциального отвода. Однако, учитывая что большую часть времени система работает с номинальным расходом газа, а также то, что при снижении расхода газа абсолютное значение затрат энергии значительно уменьшается, применение разработанного устройства энергетически выгодно в сравнении с тангенциальными отводами.

В настоящий момент, тангенциальные отводы-закручиватели установлены на ряде аспирационных систем предприятий строительной индустрии. Для примера предлагается рас-

смотреть аэродинамические характеристики системы аспирации сушильного барабана кирпичного цеха №2 Себряковского комбината асбестоцементных изделий.

Аспирационная система предназначена для улавливания пыли и частиц глины содержащейся в отходящих от сушильного барабана газах. В виду больших габаритов и компоновочных особенностей пылеулавливающей установки, а также в связи с плотной компоновкой технологического оборудования на территории цеха пылеуловители размещены на значительном расстоянии от сушильного барабана, в виду чего аспирационная сеть имеет значительную протяженность горизонтальных воздухопроводов (рис. 2).

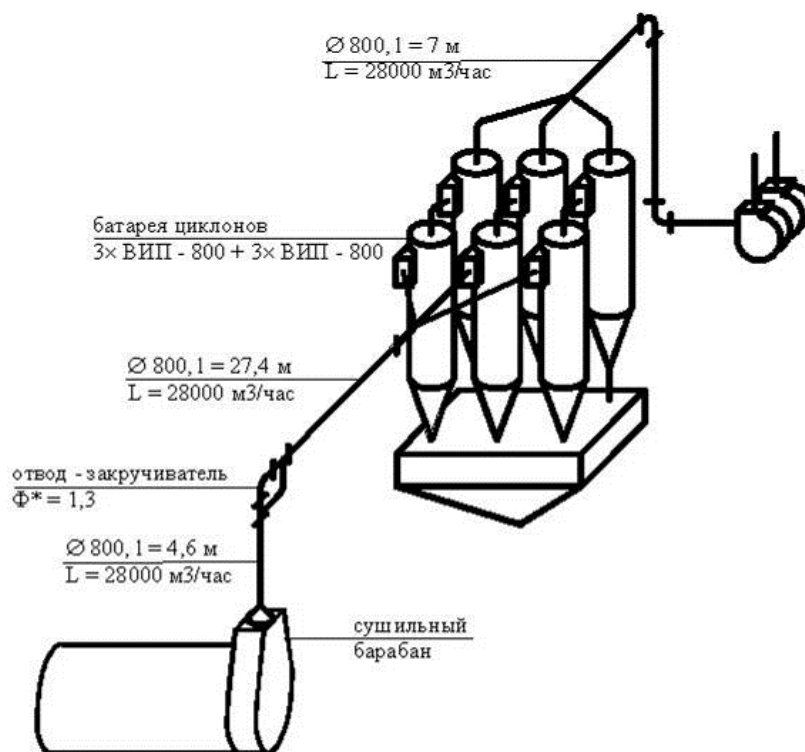


Рисунок 2 – Схема системы аспирации сушильного барабана кирпичного цеха №2 Себряковского комбината асбестоцементных изделий после реконструкции

При работе сушильного барабана Б – 2,2 – 16 в режиме проектной мощности, выход высушенного глиняного сырья составляет 14,2 т/час. При таком режиме работы расход газов, отводимых от барабана системой аспирации, по проекту составляет 28000 нормальных м³/час.

Сушильный барабан подготавливает сырье для трех технологических линий по производству керамического кирпича и в случае плановой или профилактической остановки одной или двух линий его производительность может понижаться в два-три раза. В целях снижения расхода тепловой энергии и уноса пыли в систему аспирации расход газа, отводимого от барабана, снижается пропорционально его производительности. При этом для поддержания необходимого для эффективной работы пылеуловителей ВИП – 800 значения расхода аспирационного газа, в режимах пониженной нагрузки производится отключение одной или двух боковых ветвей пылеулавливающей установки.

Анализ графика технологических и профилактических перерывов в работе линий по производству керамического кирпича и подсчет среднего количества и продолжительности внеплановых и аварийных остановок позволил определить время работы сушильного барабана в режимах максимальной, средней и минимальной производительности. Учитывая то, что аспирационный объем, отводимый системой аспирации от сушильного барабана, изменяется прямо пропорционально технологической нагрузке, вычислено время работы системы аспирации в режиме с расходом аспирационного газа, соответствующим режиму работы барабана.

Наблюдения за работой системы аспирации позволили установить, что с течением времени происходит существенное снижение величины аспирационного объема.

Таким образом, исходя из вышеперечисленных фактов, следует: процессе эксплуатации системы аспирации происходит оседание пыли в воздуховодах. Образование пылевых отложений вероятнее всего происходит в режиме работы системы аспирации при пониженном и минимальном расходе аспирационного газа.

Для предотвращения образования пылевых отложений в воздуховодах системы аспирации было принято решение организовать закрутку аспирационного потока в режимах работы системы аспирации с пониженным расходом газа. Для этого стандартный аспирационный отвод в месте соединения вертикального воздуховода отходящего от сушильного барабана и горизонтального воздуховода присоединенного к пылеулавливающей установке заменен на комбинированный тангенциальный отвод – закручиватель (см. рис. 2).

Результаты аэродинамического расчета системы аспирации после реконструкции, при работе в основном режиме и режиме с пониженным расходом аспирационного газа показывают что, в основном режиме работы, потери давления системы аспирации с установленным комбинированным тангенциальным отводом – закручивателем практически не отличаются от потерь давления системы до реконструкции.

При работе в режиме пониженного на две трети расхода аспирационного газа, потери давления системы аспирации с комбинированным тангенциальным отводом – закручивателем, работающем в режиме закрутки потока, лишь незначительно (на 4,5%) больше потерь при аналогичном режиме работы системы аспирации до реконструкции. При этом условия транспортирования пылевидных частиц в горизонтальном воздуховоде, значительно улучшаются по сравнению с условиями, наблюдаемыми при осевом течении аспирационного потока.

После проведения реконструкции проведены аэродинамические испытания системы аспирации при работе в различных режимах. Данное обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что после реконструкции системы аспирации образование пылевых отложений в воздуховодах аспирационной сети прекратились. В результате установки комбинированного отвода – закручивателя при работе системы с полной нагрузкой в режиме незакрученного потока аэродинамическое сопротивление возросло с 2000 Па до 2080 Па, что составляет менее 5% и находится на нижнем уровне точности измерений. Закрутка аспирационного потока позволяет системе устойчиво работать при расходе аспирационного газа в две трети и треть от номинального. Экономия энергии при этом составляет соответственно 52,7% и 68,9%.

Таким образом, реконструкция системы аспирации, заключающаяся в замене стандартного вентиляционного отвода, комбинированным тангенциальным отводом – закручивателем позволила обеспечить надежное функционирование системы аспирации при сниженной величине аспирационного объема. При проведении реконструкции не потребовалось каких либо существенных изменений в аспирационной сети и замены тягодутьевого оборудования. Также не произошло существенного увеличения затрат энергии, и прочих эксплуатационных затрат.

Выводы

В ряде случаев, аспирационные сети предприятий строительной индустрии, подвержены забиванию вследствие образования пылевых отложений.

Наиболее подвержены образованию пылевых отложений системы аспирации с изменяющимся аспирационным объемом.

Применение закрутки потока в воздуховодах систем аспирации позволяет предотвращать образование пылевых отложений, существенно повышая устойчивость работы систем аспирации при снижении аспирационных объемов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров, В.Н. Применение закрученных потоков в системах аспирации строительной отрасли [Текст] / В.Н. Азаров, Д.П. Боровков // Объединенный научный журнал. – 2003. – №5 (63). – С. 102-104.
2. Кононенко, В.Д. Некоторые особенности пневмотранспорта закрученным потоком [Текст] / В.Д. Кононенко // Сб. Совершенствование систем очистки выбросов и поддержания микроклимата производственных зданий. – Пенза, 1987. – С. 14-18.

3. Медведева, Б.А. Исследование гидромеханики двухфазных закрученных потоков в осесимметричных каналах [Текст]: Автореф. дис. канд. техн. наук – Казань. 1982. – 14 с.

4. Скоробогатова, Н.В. Экспериментальные исследования влияния закрученного потока на транспортирования твердых частиц по трубам [Текст] / Н.В. Скоробогатова, Э.М. Семенов // Отопление и вентиляция. – Иркутск, 1976. – С. 7-11.

Азаров Валерий Николаевич

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, г. Волгоград

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

Тел.: +7 961 074 15 55

E-mail: kaf_bgdvt@mail.ru

Боровков Дмитрий Павлович

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, г. Волгоград

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Пожарная безопасность и гражданская защита»

Тел.: +7 906 169 14 53

E-mail: frigate@yandex.ru

AZAROV V.N., BOROVKOV D.P.

**INCREASING STABILITY WORK OF ASPIRATION
SYSTEM THROUGH SWIRLING FLOW**

The article lists the reasons for dust deposits in aspiration systems, and as a consequence of lowering the efficiency of dust equipment. Presented and analyzed solutions of the above problems by the use of swirl flow in duct aspiration systems, significantly increasing the stability of the systems at lower suction aspiration volumes.

Keywords: dust, construction industry, swirling flow, aspiration system.

BIBLIOGRAPHY

1. Azarov, V.N. Primenenie zakruchennykh potokov v sistemah aspiracii stroitel'noj otrasli [Tekst] / V.N. Azarov, D.P. Borovkov // Ob'edinennyj nauchnyj zhurnal. – 2003. – №5 (63). – S. 102-104.

2. Kononenko, V.D. Nekotorye osobennosti pnevмотransпорта zakruchennym potokom [Tekst] / V.D. Kononenko // Sb. Sovershenstvovanie sistem oчитки vybrosov i podderzhanija mikroklimate proizvodstvennyh zdaniy. – Penza, 1987. – S. 14-18.

3. Medvedeva, B.A. Issledovanie gidromehaniki dvuhfaznykh zakruchennykh potokov v osesimmetrichnykh kanalah [Tekst]: Avtoref. dis. kand. tehn. nauk – Kazan'. 1982. – 14 s.

4. Skorobogatova, N.V. Jeksperimental'nye issledovaniya vlijaniya zakruchennogo potoka na transportirovaniya tverdyh chastic po trubam [Tekst] / N.V. Skorobogatova, Je.M. Semenov // Otoplenie i ventiljacija. – Ir-kutsk, 1976. – S. 7-11.

Azarov Valery Nikolaevich

Volgograd state architectural and construction university, Volgograd

Doctor of technical science, professor, head of department «Health and safety in a technosphere»

Ph.: +7 961 074 15 55

E-mail: kaf_bgdvt@mail.ru

Borovkov Dmitry Pavlovich

Volgograd state architectural and construction university, Volgograd

Candidate of technical science, associate professor of department «Fire safety and civil protection»

Ph.: +7 906 169 14 53

E-mail: frigate@yandex.ru

ГОЛЕНКОВ В.А., КОБЕЛЕВА С.А.

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ, РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

При производстве строительных материалов, возведении жилых зданий, их эксплуатации расходуются различные виды природно-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов. Выбор архитектурно-конструктивной системы жилого здания – один из важнейших факторов, оказывающих влияние, как на его сметную стоимость, так и на ресурсосбережение на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации. В статье приведены примеры ресурсосберегающих конструктивных систем зданий. Для технико-экономической оценки инновационных проектных решений целесообразно применять балансовый метод, который требует учета обеспеченности различными видами ресурсов. Оценка ресурсоэффективных конструктивных систем целесообразно производить путем сравнения с конкурирующим проектом, применяемым в настоящее время в практике строительства.

Ключевые слова: ресурсосбережение, конструктивные системы, балансовый метод.

В Российской Федерации проблема обеспечения населения жильем в городах решается, в основном, за счет строительства жилых многоэтажных зданий. В настоящее время обозначились ключевые направления ресурсо- и энергосбережения при проектировании, строительстве и эксплуатации жилых зданий. Актуальность проблемы определена федеральным законом от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», федеральным законом от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». С принятием законодательных актов в стране появился реальный спрос на энерго- и ресурсосберегающие инновационные технологии в строительном комплексе. Усиление «зеленых тенденций» поставило еще одну задачу - комбинировать эффективность строительных материалов и конструкций с безопасностью для человека и окружающей среды. В соответствии с ГОСТ Р 52104-2003 «Ресурсосбережение. Термины и определения» ресурсоемкость определяет показатели ресурсопотребления и ресурсосбережения, включающие конструктивно-технологические свойства продукции, в том числе показатели, обуславливающие фактическое потребление материальных и энергетических ресурсов на стадии изготовления продукции.

В работе [1] сформулированы основные принципы для формирования проектных решений ресурсосберегающих жилых зданий:

1) Градостроительные (выбор местоположения здания с учетом климатических условий, ландшафта, существующей застройки в районе предполагаемого строительства, использование подземного пространства и т.п.);

2) Объемно-планировочные (компактная форма в плане, проектирование и строительство ширококорпусных жилых домов, гибкие планировочные решения, функциональное зонирование помещений, в том числе по температурно-влажностным параметрам микроклимата и др.);

3) Конструктивные (использование ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и конструкций, имеющих прочность, жесткость, трещиностойкость, обладающих долговечностью, безопасностью, рациональные эксплуатационные расходы);

4) Экологические (соблюдение требований по инсоляции, шумозащите помещений, архитектурный облик здания должен быть в гармонии с окружающей средой, использование в проектах экологически чистых материалов, сокращение количества отходов и пр.);

5) Инженерно-технические (применение технических решений и оборудования, позволяющих устранить или сократить избыточные затраты на нагрев, охлаждение и вентиляцию

помещений, внедрение новых инженерных систем, контрольно-измерительных приборов, устранение потерь в сфере ЖКХ при транспортировке тепло-, энергоносителей, воды и т.п.).

На всех стадиях жизненного цикла жилых зданий затрачивается определенное количество природно-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов. Компенсировать их можно только в процессе длительной эксплуатации ресурсоэффективных и безопасных объектов. Поэтому выбор архитектурно-конструктивной системы жилого здания – один из важнейших факторов, оказывающих влияние, как на его сметную стоимость, так и на ресурсосбережение на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации [2]. Например, при изготовлении всех сборных железобетонных элементов каркасного здания из высокопрочных бетонов классов по прочности В45-В50 взамен тяжелого бетона на плотных природных заполнителях масса здания снижается до 30%. Это позволяет сократить расход высокоэнергоёмкой арматурной стали: в горизонтальных элементах на 10-15% (13-20 кг) на 1 м³ железобетона; в колоннах – на 15-20% (85-110 кг) на 1 м³ железобетона; в фундаментах – на 15-20% (15-35 кг) на 1 м³ железобетона. Значительный резерв в снижении расходов ресурсов может быть реализован за счет совершенствования конструкций стыков элементов сборного каркаса. Помимо конструктивных систем зданий значительный эффект ресурсосбережения достигается при использовании альтернативных низкоэнергоёмких строительных материалов. Так, применение в бетонах пористых заполнителей (продуктов переработки металлургических шлаков и топливной энергетики) позволяет при равных свойствах материалов снизить энергозатраты на их производство на 12-35%. При этом одновременно решаются вопросы утилизации отходов промышленного производства и охраны окружающей среды [3].

Для технико-экономической оценки инновационных проектных решений целесообразно применять балансовый метод, который требует учета обеспеченности различными видами ресурсов (энерго-сырьевых, производственных, технологических, инфраструктурных и т.п.) при производстве и эксплуатации конструкций, а также обеспечение условий для воспроизводства и рационального использования каждого вида ресурсов. В балансовом методе среди показателей эффективности целесообразно выделить следующие виды ресурсов: приведенные затраты на изготовление конструкций (сырье, материалы, условное топливо, и т.п.), приведенные затраты на возведение конструкций на строительной площадке (трудоемкость, продолжительность, время эксплуатации строительных машин и механизмов и т.д.), коэффициент изменения срока службы конструктивных систем с высоким уровнем конструктивной безопасности и живучести по сравнению с базовым вариантом, приведенную экономию в сфере эксплуатации конструкций за срок их службы и др.

Оценку ресурсоэффективных конструктивных систем целесообразно производить путем сравнения с конкурирующим проектом, применяемым в настоящее время в практике строительства. Оценочный эффект рассчитывается по формулам (1, 2):

$$\Delta \mathcal{E}\Phi = \mathcal{E}\Phi_k - \mathcal{E}\Phi_j \quad (1)$$

где $\mathcal{E}\Phi_{k,j}$ – оценочный экономический эффект соответственно по k -му и j -му вариантам сравниваемых конструктивных решений.

$$\mathcal{E}\Phi = CC + \sum_{(t; T)} \mathcal{E}\mathcal{Z} / (1+d)^t \rightarrow \min, \quad (2)$$

где CC – сметная стоимость конструкций (единовременные затраты), определяемая по сметным документам в составе рабочей документации; T – жизненный цикл здания – временной интервал от начала строительства до прекращения его эксплуатации или сноса; $\mathcal{E}\mathcal{Z}$ – эксплуатационные затраты; d – коэффициент дисконтирования; t – годы реализации затрат.

Единовременные затраты на строительство включают: затраты на сырье и материалы для изготовления строительных конструкций; общепроизводственные расходы и прибыль предприятий строительной индустрии; затраты на возведение конструкций на строительной площадке; общепроизводственные расходы и прибыль строительно-монтажных организаций; транспортные расходы, прочие издержки. Эксплуатационные расходы по содержанию жилых и общественных зданий – совокупность материальных, энергетических и трудовых затрат на проведение соответствующих работ и мероприятий по содержанию в технически исправном

состоянии элементов и отдельных конструкций здания и обеспечению внутри него необходимого уровня комфорта и микроклимата.

В современном многоэтажном жилищном строительстве применяют различные конструктивные схемы и системы. Для оценки ресурсоэффективности по формулам (1, 2) выполнены расчеты (таблица 1) следующих альтернативных вариантов конструктивных решений многоэтажных жилых зданий:

1) конструктивное решение, разработанное и запатентованное Орловским государственным техническим университетом и Орловским академцентром: с несущим внутренним каркасом из железобетонных панельных элементов, изготавливаемых с использованием модифицированной опалубки бывшей серии 25 с шагом несущих стен до 6,4 м; сопряжение перекрытий из многопустотных плит с несущими внутренними стенами осуществляется посредством платформенных стыков [4];

2) конструктивная система «КУБ-2,5» – сборно-монолитная безригельная система рамного каркаса, в котором пространственная жесткость и устойчивость обеспечивается жестким (рамным) соединением неразрезных замоноличенных дисков перекрытий с колоннами в уровне каждого этажа, а в случае рамно-связевой схемы включение в работу элементов жесткости;

3) универсальная открытая архитектурно-строительная система многоэтажных зданий АРКОС-2.

Таблица 1 – Расчет оценочного эффекта конструктивных систем жилых зданий

№ п/п	Наименование конструктивных систем	Материалоемкость в основных строительных материалах на 1 м ² общей площади жилого здания			Расход условного топлива на производство основных строительных материалов на 1 м ² общей площади жилого здания, кг. у.т	Оценочный эффект в базисных сметных ценах по состоянию на 01.01.2000 г. (без учета НДС) на 1 м ² общей площади, тыс. руб.
		цемент, кг (в переводе на цемент М-400)	сталь, т (в натуральном исчислении и приведенная к классу А-I)	железобетона и бетона, м ³		
1	конструктивная система Орловского академцентра и ОрелГТУ	71,3	23,2	0,195	56,91	6,478
2	конструктивная система «КУБ-2,5»	79,4	25,3	0,223	63,35	7,151
3	универсальная открытая архитектурно-строительная система многоэтажных зданий АРКОС-2	75,2	23,6	0,214	59,89	6,772

Использование в проектах жилых зданий ресурсоэффективных конструктивных систем открывает большие возможности для снижения материалоемкости (на 4,2-11,3%), энергоемкости (на 5,3-11,2%) строительства. Общий оценочный экономический эффект в базисных сметных ценах по состоянию на 01.01.2000 г. (без учета НДС 18%) составляет 0,294-0,673 тыс. руб. на 1 кв. м общей площади здания.

Таким образом, основные факторы, влияющие на ресурсосбережение при проектировании и строительстве жилых зданий следующие: рациональный выбор объемно-планировочных и конструктивных решений; длительный срок службы; снижение ресурсоемкости зданий и, как результат, снижение использования невозобновляемых природных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молодкин, С. А. Принципы формирования архитектуры энергоэффективных высотных жилых зданий [Текст]: автореферат дис. ... канд. архитектуры. – Москва: ЦНИИПромзданий, 2007. – 22 с.
2. Кобелева, С.А. Методические подходы проектирования ресурсо- и энергоэффективных зданий [Текст] / С.А. Кобелева // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2011. – №5 (37). – С. 18-20.
3. Ярмаковский, В.Н. О ресурсоэнергосбережении при использовании инновационных технологий в конструктивных системах зданий в процессе их создания и возведения [Текст] / В.Н. Ярмаковский, А.С. Семченков, М.М. Козелков, Д.А. Шевцов // Вестник МГСУ. – 2011. – №3. – Том 1. – С. 209-214.
4. Андросова, Н.Б. Некоторые предложения к нормированию параметров живучести сооружений [Текст] / Н.Б. Андросова, Н.В. Ключева, В.И. Колчунов // Вестник отделения строительных наук, выпуск 15. – Москва-Орел-Курск: РААСН, 2011. – 328 с. – С. 17-25.

Голенков Вячеслав Александрович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Доктор технических наук, профессор, ректор
Тел.: +7 (4862) 42-00-24

Кобелева Светлана Анатольевна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и материалы»
E-mail: ksa92@ya.ru

GOLENKOV V.A., KOBELEVA S.A.

**THE RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES
AND MATERIALS IN THE HOUSING CONSTRUCTIONS**

At the production of building materials, erection of dwellings building, the different types of natural, raw material and fuel and energy resources are expended their exploitation. Choice of the architectonically-structural system of dwelling building - one of major factors, having influence, both on his estimate cost and on resource-saving on the stages of planning, building and exploitation. To the article the examples of the resource-economy structural systems of building are driven. For the technical and economic estimation of innovative project decisions it is expedient to apply a balance method that requires the account of material well-being the different types of resources. The estimation of resource-economy of the structural systems it is expedient to produce by comparing to the competitive project applied presently in practice of building.

Keywords: *the resource-economy, constructive systems, a balance method.*

BIBLIOGRAPHY

1. Molodkin, S. A. Principy formirovaniya arhitektury jenergojeffektivnyh vysotnyh zhilyh zdaniy [Tekst]: avtoreferat dis. ... kand. arhitektury. – Moskva: CNIIPromzdaniy, 2007. – 22 s.
2. Kobleleva, S.A. Metodicheskie podhody proektirovaniya resurso- i jenergojeffektivnyh zdaniy [Tekst] / S.A. Kobleleva // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2011. – №5 (37). – S. 18-20.
3. Jarmakovskij, V.N. O resursojenergosberezhenii pri ispol'zovanii innovacionnyh tehnologij v konstruktivnyh sistemah zdaniy v processe ih sozdaniya i vozvedeniya [Tekst] / V.N. Jarmakovskij, A.S. Semchenkov, M.M. Kozelkov, D.A. Shevcov // Vestnik MGSU. – 2011. – №3. – Tom 1. – S. 209-214.
4. Androsova, N.B. Nekotorye predlozhenija k normirovaniju parametrov zhivuchesti sooruzhenij [Tekst] / N.B. Androsova, N.V. Kljueva, V.I. Kolchunov // Vestnik otdelenija stroitel'nyh nauk, vypusk 15. – Moskva-Orel-Kursk: RAASN, 2011. – 328 s. – S. 17-25.

Golenkov Vyacheslav Aleksandrovich

State university – educational-science-production complex, Orel
Doctor of technical science, professor, rector
Ph.: +7 (4862) 42-00-24

Kobleleva Svetlana Anatolevna

State university – educational-science-production complex, Orel
Candidate of technical science, associate professor of department «Building constructions and materials»
E-mail: ksa92@ya.ru

МАЛИНИНА Н.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ НИТРИДА КРЕМНИЯ ПРИ СЛОЖНОМ НАГРУЖЕНИИ

В настоящее время широкое практическое применение находят неоксидные конструкционные керамические материалы. В то же время в литературе слабо освещены данные о закономерностях механических свойств, названных объектов при сложных термомеханических режимах воздействия. Отсутствуют экспериментальные данные о влиянии вида напряженного состояния на прочность этих объектов. Не исследованы закономерности механического поведения рассматриваемых материалов при нестационарных термомеханических режимах нагружения. Данная работа снимает ряд вопросов по обозначенной проблеме.

Ключевые слова: структурно-аналитическая мезомеханика, некубические кристаллы, нитрид кремниевая керамика, термоциклическая ползучесть, разрушение.

Концепция структурных уровней в моделях повреждаемости и разрушения. Известно, что разрушение поликристаллических материалов является сложным многоуровневым, многоэтапным и многокритериальным процессом [1]. Среди мало деформационных некубических кристаллических материалов вызывают интерес пористые конструкционные керамики на основе нитрида кремниевых композиций, которые, как правило, обладают повышенными характеристиками трещиностойкости. Исходная поровая структура, с одной стороны, ослабляет «живое» сечение, создавая микроконцентрацию напряжений, способствует зарождению пластических деформаций и вскрытию трещин. С другой стороны, однородная поровая структура служит эффективным препятствием для «прорастания» микротрещин до критических размеров. Таким образом, исходная пористость инициирует два конкурирующих явления и в зависимости от типа и концентрации пор, режимов нагружения возможны нетривиальные эффекты. В частности, в пористой среде трещиностойкость, количество термоциклов до разрушения, могут оказаться значительно больше, чем у компактного материала, поэтому данное обстоятельство необходимо учесть при создании модели. Ниже рассматривается модель разрушения, при построении которой отражены названные закономерности эволюции разрушения материала.

Микроструктурный уровень. Локальные критерии зарождения микротрещин. Параметры микроповреждаемости. Примем, что микротрещины в кристаллических материалах в состоянии возникнуть только тогда, когда выполнены два условия. Во-первых, интегральная интенсивность сдвиговой деформации достигает в плоскости скольжения критического значения [2] и, во-вторых, будет выполнен силовой критерий. Для определенности рассмотрим случай, когда в материале могут образоваться два типа несплошностей – трещины отрыва и трещины среза. Такие трещины будут вскрываться в местах концентрации эффективных напряжений, которые в базисе l, m, n равны:

$$\tau_{ik}^{**} = \tau_{ik} + \alpha_{\rho} \Psi_{ik} + \alpha_{\lambda} \nu_{ik}, \quad (1)$$

где Ψ_{ik} – так называемые ориентированные структурные напряжения, ν_{ik} – неориентированные структурные напряжения, α_{ρ} , α_{λ} – соответственно, коэффициенты концентрации ориентированных и неориентированных структурных напряжений.

Необходимо отметить, что в уравнении (1) τ_{ik}^{**} действует хотя и вблизи зоны сдвига в местах его торможения, но там, где могут зародиться микротрещины, т.е. там, где имеет место повышенная концентрация микронапряжений. Примем размеры области усреднения V_0 в ориентационном пространстве $\{\Omega\}$ такими, которые позволят учесть образование в одном ло-

кальном объеме V_0 повреждений как от трещин среза, так и от трещин отрыва, причем в любой последовательности и различной интенсивности. Кроме того, расчет микроповреждаемости будем проводить с учетом эволюции возникших микротрещин по мере нарастания микроскопической деформации. Для удобства используем две дополнительные системы координат. Для трещин отрыва – базис a, b, c , направляя орт \vec{c} вдоль нормали к плоскости трещин отрыва, и базис p, r, s – для трещин среза, направляя орт \vec{p} вдоль среза, а орт \vec{s} по нормали к плоскости среза. Введем обозначения напряжений τ_{ik}^{**} в базисе a, b, c через $\hat{\tau}_{ik}$, а в базисе p, r, s через $\bar{\tau}_{ik}$, тогда

$$\hat{\tau}_{ik} = \eta_{pi}^0 \eta_{qk}^0 \tau_{pq}^{**}; \bar{\tau}_{ik} = \eta_{pi}^c \eta_{qk}^c \tau_{pq}^{**} \quad (2)$$

где η_{ik}^0, η_{ik}^c – направляющие косинусы, переводящие, соответственно, базисы a, b, c и p, r, s в базис $1, m, n$. С учетом изложенного выше, можно по аналогии с [2] ввести эволюционные уравнения микроповреждаемости для трещин среза π^c и трещин отрыва π^0 в виде следующих выражений:

$$\dot{\pi}^c = \left[H(\bar{\tau}_{31} \text{sign} \bar{\tau}_{31} - \tau^c) \delta\left(\frac{\beta}{\beta^c} - 1\right) \frac{\dot{\beta}}{\beta^c} + H(\beta - \beta^c) \delta\left(\frac{\bar{\tau}_{31} \text{sign} \bar{\tau}_{31}}{\tau^c} - 1\right) \frac{\bar{\tau}_{31} \text{sign} \bar{\tau}_{31}}{\tau^c} \right] \times \quad (3)$$

$$\times \left(1 + a^c \frac{\beta}{\beta^c} \right) H(1 - \pi^c) + a^c H(\beta - \beta^c) H(\bar{\tau}_{31} \text{sign} \bar{\tau}_{31} - \tau^c) \frac{\dot{\beta}}{\beta^c};$$

$$\dot{\pi}^0 = \left[H(\hat{\tau}_{33} - \tau^0) \delta\left(\frac{\beta}{\beta^0} - 1\right) \frac{\dot{\beta}}{\beta^0} + H(\beta - \beta^0) \delta\left(\frac{\hat{\tau}_{33}}{\tau^0} - 1\right) \frac{\hat{\tau}_{33}}{\tau^0} \right] \times \quad (4)$$

$$\times \left(1 + a^0 \frac{\beta}{\beta^0} \right) H(1 - \pi^0) + a^0 H(\beta - \beta^0) H(\hat{\tau}_{33} - \tau^0) \frac{\dot{\beta}}{\beta^0},$$

где $\delta(X)$ – функция Дирака.

Первое слагаемое в (3) описывает скорость накопления поврежденности, обусловленную трещинами среза в ситуации, когда силовой критерий выполнен, т.е. $\bar{\tau}_{31} \text{sign} \bar{\tau}_{31} > \tau^c$, а деформационный критерий $\beta = \beta^c$ удовлетворяется в момент раскрытия трещин. Второе слагаемое описывает скорость повреждаемости срезом в условиях, когда деформационный критерий выполняется раньше, а лишь потом силовой $\bar{\tau}_{31} \text{sign} \bar{\tau}_{31} > \tau^c$. Оператор $H(1 - \pi^c)$ учитывает невозможность повторного образования трещин среза. И, наконец, третье слагаемое учитывает увеличение повреждаемости по мере накопления микродеформаций. Аналогичным способом сконструировано и выражение для скорости повреждаемости через трещины отрыва (4). В со-

отношениях (3) и (4) $\beta^c, \beta^0, \tau^c, \tau^0, a^c, a^0$ – константы материала, $\beta = \int_0^t \beta_{31}^H \text{sign} \beta_{31}^H ds$.

Отметим, что в (3), (4) использовалась линейная аппроксимация, отражающая эволюцию «прорастания» трещин по мере нарастания микроскопической деформации. Уравнения (1) – (4) характеризуют свойства нижнего структурного уровня. Для интерпретации физического содержания этих соотношений можно привлекать многочисленные физические схемы разрушения [1].

Промежуточный структурный уровень. Параметры макроповреждаемости. Перенормировка напряжений. Для перехода на следующий структурный уровень (с объемом усреднения V) необходимо произвести ориентационное и статистическое усреднение параметров микроповреждаемости π^c и π^0 . Параметр макроповреждаемости Π будет иметь вид:

$$\Pi = \int_{\{s\}} ds \int_{\{\Omega\}} \Psi(s) f(\Omega) (\pi^c + \pi^o) d^3\Omega. \quad (5)$$

Параметр Π характеризует суммарную повреждаемость в объеме усреднения V . Анализ физического содержания параметра Π позволяет сделать два вывода. Во-первых, появление макроповреждаемости $\Pi > 0$ отражает уменьшение «живого» сечения тела в пропорции $\left[1 - \left(\frac{\Pi + \alpha\theta^3}{\Pi_0}\right)^\xi\right]^{-1}$, где ξ и Π_0 – параметры материала (принято полагать $\xi=1$).

Если в теле имеются несплошности, концентрация которых характеризуется параметром Π , то напряжение σ_{ik} необходимо перенормировать, заменив его на напряжение σ'_{ik} :

$$\sigma'_{ik} = \left[1 - \left(\frac{\Pi + \alpha\theta^3}{\Pi_0}\right)^\xi\right]^{-1} \sigma_{ik}. \quad (6)$$

Здесь θ – концентрация пор, α – константа материала.

Выражение $\Pi + \alpha\theta^3$ в (6) отражает влияние исходной поровой структуры на образование микротрещин среза и отрыва, а именно, ослабляя «живое» сечение. Создавая микроконцентрацию напряжений, поры способствуют зарождению микропластических деформаций и вскрытию трещин. Что же касается ориентированных ρ_{ik} и неориентированных λ_{ik} микронапряжений, то их перенормировка, на наш взгляд, не должна осуществляться. Отметим, что повреждаемость должна сопровождаться некоторой дополнительной деформацией ε_{ik}^P , скорость накопления которой при изотропном разрыхлении можно представить в виде:

$$\dot{\varepsilon}_{ik}^P = a_P \dot{\Pi} \delta_{ik}, \quad (7)$$

где a_P – постоянная, δ_{ik} – символ Кронекера.

Макроскопический уровень разрушения. Разрушение тела на части. Как уже отмечалось, макроскопическое разрушение тела происходит лишь тогда, когда одновременно выполнены два критерия: кинетический критерий, учитывающий формирование критического уровня повреждаемости материала, и силовой, отражающий наличие движущих сил для разделения тела на части. Для учета влияния исходной поровой структуры введем в кинетический критерий начальную пористость таким образом, чтобы она увеличивала критическую повреждаемость, отражая тем самым эффект торможения образования трещин с критическими размерами. Учитывая высказанные соображения, запишем следующее критериальное соотношение для параметра макроскопического разрушения Π^M :

$$\Pi^M = H\left(\Pi - \Pi_{kp} - m\theta\right) \left[H\left(\sigma_1 - \sigma_1^o + b_1\Pi\right) + H\left(\tau_1 - \tau_1^c + b_2\Pi\right) \right], \quad (8)$$

где σ_1 , τ_1 – соответственно, максимальное главное нормальное напряжение и максимальное касательное напряжение; m , σ_1^o , τ_1^c , b_1 , b_2 – константы.

В соответствии с (8), если $\Pi^M \geq 1$, тело разрушится, но оно не будет разрушено, если $\Pi^M = 0$. Согласно (8), макроскопическое разрушение произойдет тогда, когда критического уровня достигнут и параметр рассеянного повреждения Π , и параметры, контролируемые силовые критерии разрушения. Естественно, что появление рассеянного макроповреждения, характеризуемого параметром Π , создает дополнительную остаточную макроскопическую деформацию ε_{ik}^P , которую в простейшем случае можно рассчитать по формуле (7).

Ползучесть пористой нитрид кремниевой керамики при сложных режимах термоциклирования. Известно [2], что в пористой нитрид кремниевой керамике наблюдается интенсивное размножение дислокаций при термоциклическом воздействии. Учитывая, что нитрид кремниевая керамика имеет гексагональную кристаллическую решетку с существенной анизотропией упругих свойств и теплового расширения, можно ожидать, что в переменном температурном поле будут инициироваться значительные тепловые микронапряжения способные вызвать такие эффекты как ускоренная термоциклическая ползучесть и пониженная термоцикли-

ческая долговечность. На основе структурно-аналитической мезомеханики были выполнены аналитические расчеты, которые дали подтверждающий прогноз указанных эффектов [2, 3]. Проставленные опыты убедительно подтвердили результаты теоретического прогноза.

Керамические образцы в виде тонкостенных трубок нагружали постоянным крутящим моментом и подвергали периодическим нагревам в интервалах температур 300 К – 773 К или 323 К – 573 К, т. е. испытания проводились в условиях чистого сдвига. Применяли два типа термоциклов – пилообразный и трапецеидальный. В первом из них, скорости нагрева и охлаждения до заданной температуры подбирали одинаковыми и равными $1,4 \text{ K c}^{-1}$. Аналогичные скорости изменения температуры использовали и для трапецеидального цикла с выдержкой верхней и нижней температуры ≈ 14 мин. Заметной разницы в поведении материалов для этих двух режимов испытания обнаружено не было. Поэтому ниже приводятся экспериментальные данные, относящиеся к пилообразному термоциклическому режиму. Основные результаты опытов при термоциклировании от 300 К до 773 К приведены на рисунках 1-3. На рисунке 1 показан участок ОА затухающей термоциклической ползучести при сдвиговом напряжении 8,8 МПа. В момент времени, обозначенный точкой А, напряжение было увеличено до 12,9 МПа. Это вызвало резкое ускорение ползучести в образце и в итоге, его полное разрушение наблюдалось при деформации примерно 1,38% (момент разрушения здесь и далее отмечен крестиком, а составляющая упругой деформации не изображена).

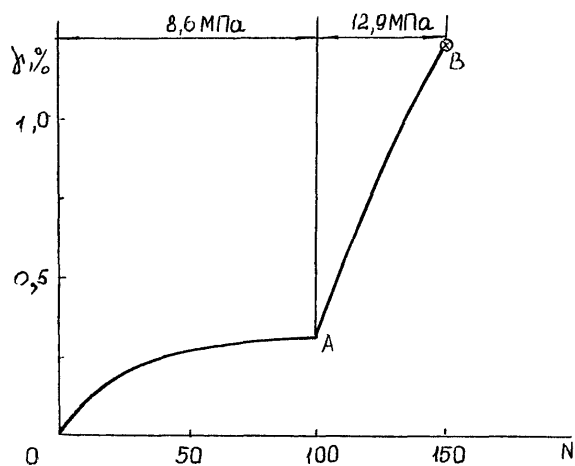


Рисунок 1 – Термоциклическая ползучесть нитридкремниевой керамики Si_3N_4 при пилообразном режиме изменения температуры от 300 до 773 К. Сдвиговое напряжение равно 8,6 МПа на участке ОА и 12,9 МПа на участке АВ

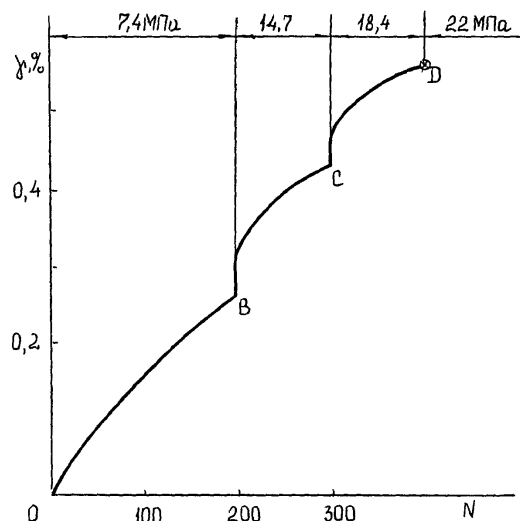


Рисунок 2 – Термоциклическая ползучесть нитридкремниевой керамики Si_3N_4 при ступенчатом изменении сдвигового напряжения на участке ОВ – 7,4 МПа, ВС – 14,7 МПа, СД – 18,4 МПа

В отличие от опыта, изображенного на рисунке 1, на первом участке ОВ (рис. 2) сдвиговое напряжение было меньше и равнялось 7,4 МПа, а количество термоциклов до момента догрузки напряжением 14,7 МПа было увеличено вдвое. Далее производили повышение напряжения через 100 термоциклов. Обнаружено, что при каждом увеличении напряжения инициировались значительное ускорение деформации и соответствующие переходные режимы, однако и количество термоциклов до разрушения при этом существенно увеличивалось. Многочисленные повторные испытания подтвердили явление увеличения долговечности керамики, когда на первом участке кривой термоциклической ползучести от 200 до 500 термоциклов действовало небольшое сдвиговое напряжение (5-7,4 МПа). Последующее периодическое увеличение внешнего напряжения вплоть до разрушения всегда значительно превышало уровень постоянно действующего напряжения на базе 800-900 термоциклов практически вдвое. Еще один эффект, обнаруженный экспериментально изображен на рисунке 3.

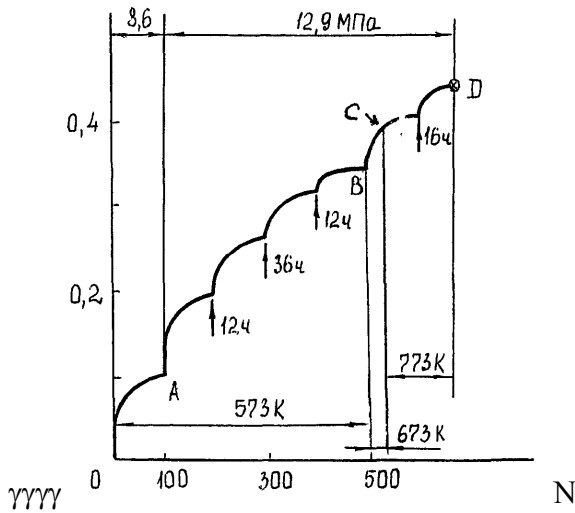


Рисунок 3 – Термоциклическая ползучесть нитридкремниевой керамики Si_3N_4 при наличии изотермических выдержек материала при постоянной температуре равной 300 К. На участке OA сдвиговое напряжение поддерживалось 8,6 МПа, на АД – 12,9 МПа. Символ ↑ и цифра при нем указывает период изотермической выдержки материала

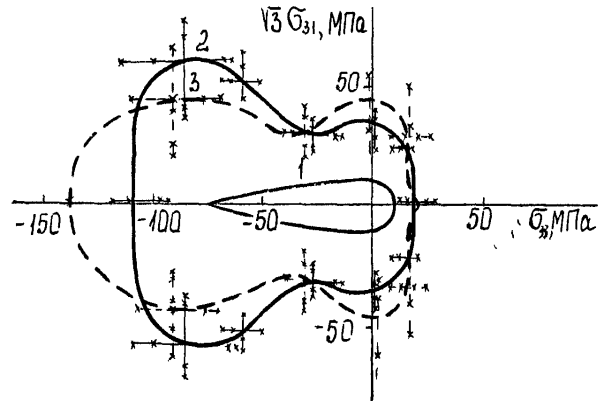


Рисунок 4 – Контур прочности нитридкремниевой керамики в координатах "нормальное напряжение σ_{33} – касательное напряжение $\sqrt{3}\sigma_{31}$ " для температуры испытания 1173 К (1) и 293 К (2). Контур (3) относится к керамике, испытанной при 293 К после ее предварительного отжига в течение 15 мин при 1173 К

В этом опыте в моменты времени, обозначенные на рисунке стрелками, после очередного этапа охлаждения изменение температуры прекращали на некоторое время (интервал времени выдержки образца под нагрузкой при постоянной температуре записан в часах рядом со стрелкой), а затем вновь производили термоциклирование по прежнему режиму. Каждый такой фрагмент с изотермической выдержкой образца под нагрузкой порождал этап ярко выраженной переходной ползучести. В момент времени, обозначенный на рисунке 3 буквой В, верхняя температура была увеличена до 673 К, а в момент времени, отмеченный буквой С – до 773 К. В первом случае (точка В) появился ярко выраженный участок переходной ползучести, во втором (точка С) – нет. Вскоре (точка Д) наступило полное разрушение образца. Кривые эволюции температурных микронапряжений, для модельного объекта, отражающего свойства керамики (на основе Si_3N_4) были рассчитаны для режима изменения температуры, соответствующего опытам на термоциклическую ползучесть, изображены на рисунке 3. Анализируя диаграммы термоциклической ползучести и кривые эволюции микронапряжений, можно прийти к выводу, что формирование свойств термоциклической ползучести контролируется кинетикой генерации и релаксации температурных неориентированных микронапряжений.

Таким образом, нитрид кремниевая керамика в области температур, где она считается хрупкой, действительно способна демонстрировать весьма значительную термоциклическую ползучесть. В целом неизотермические свойства этой керамики аналогичны для таких поликристаллов как цинк и кадмий. И хотя не все опытные факты, полученные при исследовании, поддаются простому объяснению, в общем, они находят разумное объяснение и прогнозируются на основе методов структурно-аналитической мезомеханики [2, 3].

Особенности разрушения нитрид кремниевой керамики при пропорциональных траекториях нагружения в пространстве напряжений. Целью экспериментальных исследований, результаты которых описываются ниже, является изучение контура прочности пористой нитрид кремниевой керамики при пропорциональных траекториях нагружения в пространстве напряжений. Контур прочности является аналогом понятия поверхности нагружения и представляет собой плоскую замкнутую линию, соединяющую геометрические точки, характеризующие предельные значения компонент напряжений, соответствующих моменту разрушения образца в координатном поле $\sqrt{3}\sigma_{31} - \sigma_{33}$ плоского напряженного состояния (рис. 4).

В качестве объекта исследования использовались тонкостенные трубчатые образцы из керамики Si_3N_4 . Образцы из пористой нитрид кремниевой керамики изготавливали методом термошликерного литья, последующей сушки и реакционного спекания при температуре 1823 К в среде газообразного азота. При создании методики испытаний тонкостенных трубчатых образцов из нитрид кремниевой керамики особое внимание уделялось строгому контролю соосности образца и осевой силы на всех этапах эксперимента. В опытах, содержащих комбинацию осевого сжатия и кручения, для передачи равномерного сжимающего усилия на рабочую часть через торцевые грани образца использовались тщательно подобранные полимерные прокладки. Специально спроектированная экспериментальная оснастка позволяла контролировать соблюдение соосности в процессе всего эксперимента. Опыты проводились по восьми программам нагружения. Траектория нагружения задавалась в виде прямой линии в координатном поле $\sigma_{33} - \sqrt{3}\sigma_{31}$, и оценивалась коэффициентом K равным: $K = \sqrt{3}\sigma_{31} / \sigma_{33}$. Каждый опыт повторялся на шести образцах, а в некоторых режимах для оценки наиболее характерных особенностей контура прочности использовалось десять образцов. Экспериментальные данные получены для двух постоянных температур: при комнатной температуре $T=293$ К (контур 2 и 3 на рис. 4) и при повышенной температуре $T=1173$ К (контур 1 на рис. 4).

С целью исследования влияния режима предварительной терморелаксационной обработки для опытов, проводимых при комнатной температуре, были подготовлены две партии образцов. Одна партия образцов без термообработки, что соответствует данным для контура 2 на рисунке 4. Другая партия образцов подвергалась предварительному кратковременному отжигу в свободном состоянии в течение пятнадцати минут при температуре $T = 1173$ К. Экспериментальные данные для этой партии образцов соответствуют контуру прочности под номером 3, изображенном на рисунке 4.

Наиболее интересные результаты относятся к данным, характеризующим контур прочности при комнатной температуре. Анализируя данные, представленные на рис. 4 можно увидеть характерные вогнутости контура прочности, полученные при нагружении по лучевым траекториям при комбинации осевого сжатия и кручения. Экспериментальные данные по наличию вогнутости контура прочности проверялись на дополнительной партии образцов, и оказалось, что разброс данных по точке, характеризующей максимальную вогнутость, был самым малым по сравнению с данными по другим траекториям нагружения.

Контур прочности при повышенной температуре $T = 1173$ К имеет сильно вытянутую форму в сторону сжимающих напряжений (см. контур под номером 1 на рис. 4).

Учитывая полученные экспериментальные результаты можно с уверенностью отметить существенную и нетривиальную роль вида напряженного состояния на разрушение керамики на основе нитрида кремния. Полученные результаты целесообразно учитывать при построении критерия разрушения рассматриваемого материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лихачев, В.А. Структурно-аналитическая теория прочности [Текст] / В.А. Лихачев, В.Г. Малинин. – СПб: Наука, 1993. – 471 с.
2. Малинина, Н.А. Деформация и разрушение поликристаллов с микронапряжениями [Текст] / Н.А. Малинина. – Великий Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2003. – 160 с.
3. Голенков, В.А. Структурно-аналитическая мезомеханика и ее приложения [Текст] / В.А. Голенков, В.Г. Малинин, Н.А. Малинина. – М.: Машиностроение, 2009. – 634 с.

Малинина Надежда Аркадьевна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел

Доктор технических наук, профессор кафедры «Динамика и прочность машин»

Тел.: +7 920 829 28 64

E-mail: malinina2006@yandex.ru

MALININA N.A.

**RESEARCH DEFORMATION AND DURABILITY
PROPERTIES ON THE BASIS OF NITRIDE OF SILICON
CERAMICS AT COMPLEX INFLUENCE**

Now wide practical application find not oxides constructional ceramic materials. At the same time in the literature data about laws of the mechanical properties, the named objects are poorly presented at complex thermo mechanical modes of influence. There are no experimental data about influence of a kind of the intense condition durability of these objects. Laws of mechanical behaviors of considered materials are not investigated at non-stationary thermo mechanical modes influence. The given work removes some questions on the designated problem.

Keywords: *structurally-analytical mesa mechanical, not cubic crystals, nitride silicon ceramics, thermo-cyclic creep, destruction.*

BIBLIOGRAPHY

1. Lihachev, V.A. Strukturno-analiticheskaja teorija prochnosti [Tekst] / V.A. Lihachev, V.G. Malinin. – Spb: Nauka, 1993. – 471 s.
2. Malinina, N.A. Deformacija i razrushenie polikristallov s mikronaprjazhenijami [Tekst] / N.A. Malinina. – Velikij Novgorod: NovGU im. Jaroslava Mudrogo, 2003. – 160 s.
3. Golenkov, V.A. Strukturno-analiticheskaja mezomehanika i ee prilozhenija [Tekst] / V.A. Golenkov, V.G. Malinin, N.A. Malinina. – M.: Mashinostroenie, 2009. – 634 s.

Malinina Nadejda Arkadyevna

State university – educational-science-production complex, Orel

Doctor of technical science, professor of department «Dynamics and durability of cars»

Ph.: +7 920 829 28 64

E-mail: malinina2006@yandex.ru

ФЕДОРОВ В.С., БАШИРОВ Х.З.,
КАЗАКОВ Д.В.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗВИТИЮ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПО ДЕФОРМАЦИЯМ СОСТАВНЫХ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассмотрены специфика и предложены основные положения расчета обычных и составных внецентренно сжатых железобетонных конструкций по определению прогибов на участках с трещинами и без трещин путем непосредственного использования зависимостей строительной механики. Введено понятие обобщенной жесткости и обобщенного момента, которые характеризуют внецентренное сжатие (внецентренное растяжение) при наличии и отсутствии трещин.

Ключевые слова: железобетон, внецентренное нагружение, деформации.

Внецентренно сжатые железобетонные конструкции составляют весьма значительную долю всего объема строительных конструкций. В условиях внецентренного сжатия находятся колонны одноэтажных производственных зданий, загруженные кранами, верхние пояса, восходящие раскосы и стойки ферм, стены прямоугольных резервуаров и т.п.

До настоящего времени расчеты внецентренно сжатых железобетонных конструкций выполняются соответствующим приведением к бетонному сечению. При этом даже применительно к приведенному сечению кривизна зависит не только от изгибающего момента M , но и от продольных сил N . В связи с этим понятие жесткости для указанных элементов становится в известной степени условным. По этой причине величина жесткости в формулах СНиП 2.03.01-84* и в пособиях к нему не используется. Проведенный анализ расчета железобетонных конструкций по деформациям, заложенный в нормативные документы, показывает, что пункт 4.22 [1] остался практически не реализованным.

Согласно требованиям п. 4.22 [1] деформации (прогибы, углы поворота) элементов железобетонных конструкций следует вычислять по формулам строительной механики. Для реализации данного подхода предлагаются три основных положения.

Во-первых, требование сохранить единство подхода к расчету деформаций не только при различной длительности нагружения, но и для различных участков железобетонного элемента независимо от того с трещинами он или без трещин. При этом кривизна для участков с трещинами и без трещин в растянутой зоне должна определяться по формуле (170) норм [1]. Этим обеспечивается единый алгоритм расчета (что важно при использовании ПЭВМ) и устраняется недостаток, принятый в нормах [1], вызванный тем, что усилие предварительного обжатия на участках без трещин здесь связано только со временем приложения внешней нагрузки. Между тем усилие P продолжает действовать и после приложения внешней нагрузки.

Во-вторых, ввиду того, что в расчет деформаций закладывается подход, принятый в строительной механике, то для перемножения эпюр внутренних усилий по участкам необходимо отсчет моментов производить относительно одной и той же точки – центра геометрической оси стержня (для железобетонного стержня определяется для приведенного сечения), что весьма важно для внецентренно сжатых (растянутых) железобетонных элементов.

В-третьих, выполненный анализ принятого в нормах способа определения деформаций железобетонных конструкций показывает, что отказ от использования понятия жесткости не всегда целесообразен. Вместе с тем основные параметры ξ , ν , ψ_s , z и др., оказывающие

влияние на деформации железобетонного элемента, откорректированы (с привлечением опытных данных) применительно к нормативному подходу. В связи с этим вводится понятие интегральной жесткости $B(\lambda)$ применительно к изгибу и сжатию (аналогично предложениям В.М. Бондаренко). Интегральная жесткость будет определять деформативные свойства железобетонного элемента при приведении изгибающего момента и продольной силы к заменяющему моменту Ne , характеризующему внецентренное сжатие (внецентренное растяжение) при наличии и отсутствии трещин.

Введение этих положений может быть обосновано тем, что в практике проектирования строительных конструкций всегда учитывается наличие случайного эксцентриситета, т.е. исключается случай центрального сжатия (растяжения). С точки зрения строительной механики применительно к формуле определения перемещений этот прием равносильна замене двух интегралов одним, т.е.:

$$\sum \int_0^l \frac{M_n M_m}{EI} dx + \sum \int_0^l \frac{N_n N_m}{EA} dx = \sum \int_0^l \frac{(Ne)_n (Ne)_m}{B(\lambda)} dx. \quad (1)$$

Здесь $(Ne)_m$ – заменяющий момент на соответствующем участке стержня относительно центра геометрической оси стержня, вызванный единичной силой, приложенной в направлении искомого перемещения с учетом случайного эксцентриситета.

При этом количество участков, на которое разбивается железобетонный элемент, в зонах с трещинами и без трещин достаточно принять равным 4-6 для каждой зоны. Тогда, применительно к каждому участку из эпюр заменяющих моментов $(Ne)_n$ и $(Ne)_m$, имеются средние значения заменяющих моментов и средние значения $B(\lambda)$. Последние определяются по вычисленным кривизнам с использованием зависимостей норм при соответствующих параметрах ξ , ν , ψ_s , z и др. Подчеркнем, что кривизны можно вычислять относительно любой (удобной для расчета) точки, при этом значение кривизны не изменяется. При перемножении же эпюр по формуле (1) усилия обязательно принимаются относительно центра геометрической оси.

Таким образом,

$$B(\lambda)_i = (Ne)_{i,m} \rho_{i,m}. \quad (2)$$

При использовании параметров и формул норм [1], а также предлагаемых зависимостей нужно обращать внимание на следующие особенности.

Жесткость для участков без трещин принимаем как $B(\lambda) = \varphi_{b1} E_b I_{red}$. Жесткость для участков с трещинами находим через кривизну:

$$B(\lambda) = \frac{M}{1/r}. \quad (3)$$

Для определения прогибов изгибаемого железобетонного элемента разделяем его на участки. Сначала определяем зоны, где есть трещины и зоны, где они не образуются (для этого необходимо определить M_{cr}). Затем зоны, где трещины не образуются, разбиваем на 6

участков. Для каждого из этих участков определяется $\left(\frac{1}{r}\right)_1, \left(\frac{1}{r}\right)_2, \left(\frac{1}{r}\right)_3, \left(\frac{1}{r}\right)_4$ затем $\left(\frac{1}{r}\right)$ и по $\left(\frac{1}{r}\right)$ находят жесткости $B(\lambda)$.

Для участков без трещин для определения $\left(\frac{1}{r}\right)_i, (i=1...4)$ используем формулы норм [1] с той только разницей, что при определении $\left(\frac{1}{r}\right)_1$ берется не момент от кратковременных

нагрузок, а момент от всей нагрузки при ее непродолжительном действии, в том числе с учетом усилия предварительного обжатия P , умноженного на e_{0p} (это делается для дальнейшего соответствия с методикой, используемой для участков с трещинами). При этом учитывается также наличие случайного эксцентриситета e_a в соответствии с п. 1.21 [1].

При определении прогиба фермы для начала необходимо определить $\left(\frac{1}{r}\right)$, для каждого стержня (или его участка) отдельно. Определяется все аналогично изгибаемому железобетонному элементу с той разницей, что вместо моментов используется продольное усилие N , умноженное на эксцентриситет относительно центра геометрической оси стержня. Если значение Ne и $B(\lambda)$ постоянно по всей длине стержня, то количество участков для этого стержня равно одному. Затем, исходя из кривизны, определяем жесткость $B(\lambda)_3$.

Использование предложенного приема позволяет определять перемещения железобетонных конструкций путем непосредственного использования зависимостей строительной механики, что, безусловно, повышает общность выполняемого расчета для различных конструкций при наличии и отсутствии в них трещин. При этом точность используемых расчетных параметров (ξ , ν , ψ_s , z , ρ и др.) соответствует принятым в нормах [1], а точность определения перемещений в ряде случаев заметно возрастает. Еще большего увеличения точности определения перемещений можно добиться увеличением числа участков, на которые разбиваются соответствующие зоны железобетонных конструкций, тем более что при механизированном расчете количество вычислений становится неактуальным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции [Текст]: Введены в действие с 1986-01-01. – М.: ЦТИП Госстроя СССР, 1989. – 88 с.
2. Колчунов, В.И. Методика расчета прогибов составных внецентренно сжатых железобетонных конструкций [Текст] / В.И. Колчунов, В.С. Федоров, Д.В. Казаков, И.А. Яковенко // Строительная механика и расчет сооружений. – 2011. – №5. – С. 21-25.

Федоров Виктор Сергеевич

Московский государственный университет путей сообщения, г. Москва
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции, здания и сооружения»
Тел.: +7 (495) 681-43-81

Баширов Хамит Закирович

ОАО «Центротранстрой», г. Москва
Кандидат технических наук

Казаков Дмитрий Вячеславович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Старший преподаватель кафедры «Строительство автомобильных дорог»
Тел.: +7 (4862) 76-03-72
E-mail: dkazakov84@yandex.ru

FEDOROV V.S., BASHIROV H.Z., KAZAKOV D.V.

SOME SUGGESTIONS TO DEVELOPMENT OF METHODOLOGY CONCERNING THE STRAIN ANALYSIS OF COMPOSED ESSENTRICALLY COMPRESSED ELEMENTS

BIBLIOGRAPHY

The specificity and offered the main provisions of the calculation of conventional and composite eccentrically compressed concrete structures to determine the deflections in the areas with cracks and without cracks by direct use of the dependency of structural mechanics. The notion of generalized stiffness and generalized points that characterize the eccentric contraction (eccentric tension) in the presence and absence of cracks.

Keywords: reinforced concrete, eccentric loading, deformations.

Fedorov Victor Sergeevich

Moscow state university of railway engineering, Moscow

Doctor of technical science, professor, head of department « Construction designs, buildings and constructions»

Bashirov Hamit Zakirovich

«Centrotransstroy», Moscow

Candidate of technical sciences

Kazakov Dmitry Vjacheslavovich

State university – educational-science-production complex, Orel

Senior lecturer of department «Construction of highways»

Ph.: +7 (4862) 76-03-72

E-mail: dkazakov84@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 средний объем – 500 печатных знаков;
- **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.gu-unprk.ru

Адрес учредителя журнала

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)
302020, г. Орел, ул. Наугорское шоссе, 29
+7 (4862) 42-00-24
www.gu-unpk.ru
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)
302020, г. Орел, ул. Московская, 77.
+7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: oantc@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.В. Солопов
Компьютерная верстка С.В. Солопов

Подписано в печать 29.02.2012 г.

Формат 70×108 1/16. Печ. л. 5,38.

Тираж 400 экз.

Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической
базе ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.