

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.

Емельянов С.Г. советник РААСН, д.т.н., проф.

Карпенко Н.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.

Клюева Н.В. советник РААСН, д.т.н., проф.

Коробко А.В. д.т.н., проф.

Король Е.А. 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. (Украина)

Серпик И.Н. д.т.н., проф.

Тур В.В. д.т.н., проф. (Белоруссия)

Турков А.В. д.т.н., проф.

Федоров В.С. акад. РААСН, д.т.н., проф.

Чернышов Е.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.

Шах Р. д.т.н., проф. (Германия)

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: str_and_rek@mail.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», 2013

Содержание

Теория инженерных сооружений.

Строительные конструкции

Афонин П.А., Колчунов В.И., Осовских Е.В. Деформирование эксплуатируемых железобетонных коротких призматических складок с трещинами.....	3
Гореза В.И. К вопросу определения толщины утеплителя в стеновом ограждении жилого дома.....	9
Деркач В.Н. Экспериментальные исследования каменных перегородок с дверным проемом при прогибе перекрытия.....	14
Колпаков А.В. Исследование прочностных характеристик высококачественной каменной кладки.....	23
Коробко А.В., Прокуров М.Ю. Программа определения значения коэффициента формы плоской замкнутой области, ограниченной выпуклым контуром различного очертания.....	28
Лейзерович Г.С., Приходько Н.Б., Серёгин С.В. О влиянии малой присоединенной массы на колебания разнотолщинного кругового кольца..	38
Серпик И.Н., Алексейцев А.В., Швыряев М.В. Параметрическая оптимизация стальных балочных клеток.....	43
Тамразян А.Г., Мехрализаде А.Б. К определению шага переходных этажей в многоэтажных каркасных зданиях.....	51

Архитектура и градостроительство

Азаров В.Н., Кошмарев С.А., Соколова Е.В. К обоснованию размера санитарно-защитной зоны АЗС при снижении выбросов паров тяжелых углеродов.....	57
Колчунов В.И., Скобелева Е.А., Брума Е.В. Методика расчета показателя доступности общественных зданий и сооружений маломобильным группам населения.....	60

Строительные материалы и технологии

Акулова М.В., Селиверстова О.В. Влияние и проектирование комплексной пластифицирующе-воздухововлекающей добавки на свойства дорожной цементобетонной смеси и прочность тяжелого бетона..	69
Соломенцев А.Б., Баранов И.А. Структура дорожного битума и его взаимодействие со стабилизирующими волокнистыми добавками для щебеноочно-мастичного асфальтобетона.....	75
Федосов С.В., Акулова М.В., Слизнева Т.Е., Ахмадулина Ю.С., Краснов А.М. Исследование свойств цементных композиций на гидравлических прессах.....	84

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. Sc. Tech., Prof.

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

Editor-in-chief

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

Editor-in-chief assistants:

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

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

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

Editorial committee

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

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

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

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

Klueva N.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

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

Korol E.A. 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. (Ukraine)

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

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

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

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

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

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

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: oantc@ostu.ru

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

The certificate of registration:

ПИ № ФС77-47354 from 03.04.11 г.

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

© State University ESPC, 2013

Contents

Theory of engineering structures.

Building units

Afonin P., Kolchunov V., Osovskih E. Deformation of operating reinforced concrete prismatic shell structures with cracks.....	3
Goreza V. The issue of determination of the thickness of insulation in the wall fencing of residential house.....	9
Derkach V. Experimental researches of masonry partitions with the door opening at a deflection of the floor.....	14
Kolpakov A. Study of strength features for brickwork of high quality.....	23
Korobko A., Prokurov M. Program of definition of form ratio value of plain enclosed area limited by convex contour of different configuration.....	28
Lejzerovich G., Prihod'ko N., Serjogin S. On the influence of small additional mass on vibration of a ring with different thicknesses.....	38
Serpik I., Alekseytsev A., Shviryayev M. Parametric optimization of steel beam grillages.....	43
Tamrazyan A., Mehralizadeh B. Distance to the determination of transition floors in multi-storey frame building.....	51

Architecture and town-planning

Azarov V., Koshkarev S., Sokolava E. Statement to sanitary defenses' zones volumes' dimension for reducing emissions of dangerous pollutions heavy carbon-hydrogenous substances.....	57
Kolchunov V., Skobeleva E., Bruma E. Methodology of calculating the index of availability of public buildings and facilities disabled.....	60

Construction materials

and technologies

Akulova M., Selivyorstova O. Design and influence of complex air-entraining plasticizer on the properties of road cement concrete mix and durability of heavy concrete.....	69
Solomentsev A., Baranov I. Structure of road bitumen and its interaction with stabilizing fibrous additives for stone mastic asphalt.....	75
Fedosov S., Akulova M., Slizneva T., Akhmadulina Ju., Krasnov A. Study of properties of cement composition by the instrumentality of a hydraulic press.....	84

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ. СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.074:624.04

АФОНИН П.А., КОЛЧУНОВ В.И., ОСОВСКИХ Е.В.

ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОРОТКИХ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СКЛАДОК С ТРЕЩИНАМИ*

На основе анализа результатов экспериментальных исследований железобетонных призматических складок даны предложения по их расчету с учетом силовых и средовых воздействий. В качестве расчетного аппарата для анализа деформирования таких конструктивных систем на различных уровнях их нагружения предложено использовать расчетные уравнения вариационного метода В.З. Власова в сочетании с методом последовательных нагрузений.

Ключевые слова: деформирование; железобетонные призматические складки; средовые воздействия.

Значительную часть из общего числа эксплуатируемых железобетонных складчатых покрытий бывших массовых серий производственных зданий составляют короткие призматические складки [1], то есть такие, у которых отношение $L_2/L_1 < 1$. Экспериментальными исследованиями было показано, что в каждой грани такой складчатой системы возникают, в основном, нормальные и сдвигающие усилия, при этом действием изгибающих моментов поперечного направления можно пренебречь. Это позволяет существенно упростить решение.

Так же как и в [2] при построении расчетных зависимостей сохранена традиционная гипотеза технической теории оболочек о нерастяжимости поперечного контура складки $\varepsilon_1 = 0$. Гипотеза об отсутствии деформаций сдвига не вводится $\gamma \neq 0$. Внешняя равномерно распределенная нагрузка приведена к полосовой нагрузке вдоль ребер и учитывается своими составляющими в плоскостях соответствующих граней.

На всех этапах деформирования рассматривается жесткая конструктивно нелинейная система, при этом первоначальные очертания граней сохраняются, а образование трещин моделируется некоторой приведенной толщиной с использованием коэффициентов приведения типа ψ_R [3].

Для учета специфики нелинейного деформирования плосконапряженных железобетонных элементов с трещинами (рис. 1, элементы Э1 и Э2) используются деформационные зависимости теории Н.И. Карпенко [4].

Совместное проявление силового и средового повреждения при опорных зонах и ребер складчатой системы оценивается с помощью характерных элементов Э1 и Э2.

Расчет глубины коррозионного повреждения стенки характерного элемента $(\delta - \delta^*)/2$ (где δ^* – приведенная толщина характерного элемента Э1 на заданном уровне нагрузки с учетом накопленных повреждений во времени) выполняется с помощью функции траектории повреждений k [5] и, соответственно, путем корректировки прочности поврежденного бетона (рис. 2).

Уместно также заметить, что в случае вертикального расположения фронта коррозии характерного элемента Э2 изменяется высота сжатой зоны бетона, которая учитывается аналогичным образом, но вместо параметра δ^* используется параметр x^* , где x^* – приведенная высота сжатой зоны бетона поврежденного коррозией ребра.

* Исследования выполнены в рамках госзадания на оказание услуг (выполнение работ подведомственным Минобрнауки России вузам на выполнение НИОКР 7.402.2011 «Физические и расчетные модели сопротивления конструктивных систем из железобетона в запредельных состояниях»).

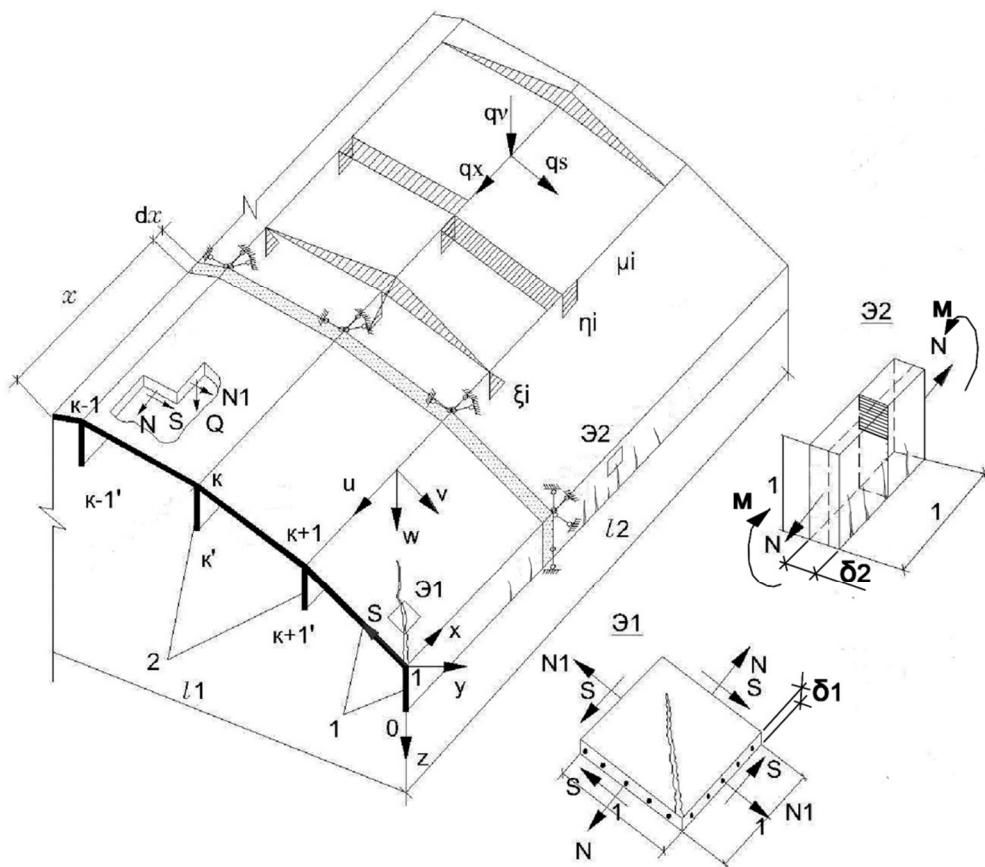


Рисунок 1 – Расчетная схема железобетонной складки:
1 – основные грани; 2 – дополнительные грани

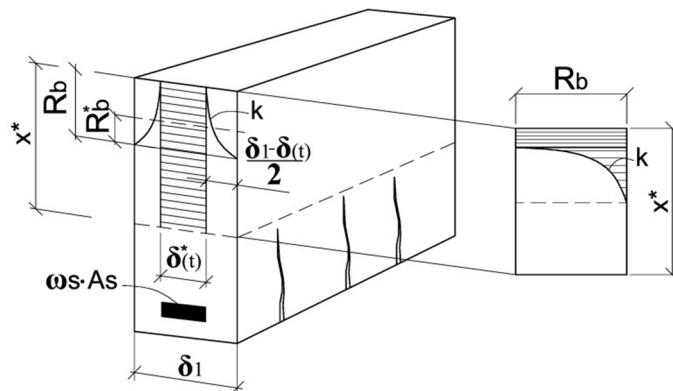


Рисунок 2 – К учету коррозионных повреждений бетона и арматуры в характерном элементе Э2 грани призматической складки

Для оценки коррозионного повреждения элемента Э1 используется аналогичная функция траектории повреждений для этого элемента.

Представленная физическая модель силового и средового сопротивления элементов Э1 и Э2 используется на каждой итерации деформационного расчета и на ее основе вычисляются соответствующие коэффициенты уравнений (жесткостные характеристики элементов складчатой системы).

Статическая часть задачи (уравнения равновесия) на каждой итерации в соответствии с принятыми гипотезами для бесконечно малого элемента рассматриваемой складки записывается следующим образом:

$$\partial N_1 / \partial x + \partial S / \partial s + q_x = 0; \quad \partial S / \partial x + \partial N_1 / \partial s + q_s = 0. \quad (1)$$

Для приведения двумерной задачи расчета складки к одномерной так же как и в работе [2] представим компоненты вектора перемещений в виде:

$$\begin{aligned} U(x, s) &= \sum U_i(x) \xi_i(s); \\ V(x, s) &= \sum V_i(x) \eta_i(s); \\ \bar{V}(x, s) &= \sum \bar{V}_k(x) \eta_k(s), \end{aligned} \quad (2)$$

где $U_i(x)$, $V_i(x)$, $\bar{V}_k(x)$ – искомые обобщенные функции продольных и поперечных перемещений, $\xi_i(s)$, $\eta_i(s)$, $\eta_k(s)$ – единичные функции, которые выбираются предварительно в соответствии с принятыми геометрическими гипотезами, их изменение по ширине отдельной грани и для эквивалентного приведенного сечения принимается линейным.

Усилия N_1 и S определяются физическими уравнениями для железобетона с трещинами [4]:

$$N_1 = D_{11}^* \cdot \varepsilon_1 + D_{13}^* \cdot \gamma; \quad S = D_{13}^* \cdot \varepsilon_1 + D_{33}^* \cdot \gamma. \quad (3)$$

где

$$D_{11}^* = C_{33}^* / (C_{11}^* C_{33}^* - C_{13}^{2*}); \quad D_{13}^* = C_{13}^* / (C_{13}^{2*} - C_{11}^* C_{33}^*); \quad D_{33}^* = C_{11}^* / (C_{11}^* C_{33}^* - C_{13}^{2*}). \quad (4)$$

При этом уместно заметить, что в отличие от [4] приведенные жесткости D_{ji}^* вычисляются с учетом не только трещин, но и коррозионных повреждений в соответствии со схемой (рис. 2).

Интегральные условия равновесия элементарной поперечной полоски, выделенной двумя поперечными сечениями с координатами x и $x+dx$, и длиной, равной длине контура поперечного сечения b (см. рис. 1) составляются по известной схеме на основе принципа возможных перемещений.

После преобразований получена система разрешающих дифференциальных уравнений равновесия элементарной полоски dx призматической складки:

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{i_1} a_{ji}(x, s) U'_i(x) + \sum_{k=0}^{k_1} b_{jk}(x, s) \bar{V}'_k(x) &= P_j(x); \\ \sum_{i=0}^{i_1} b_{hi}(x, s) U'_i(x) + \sum_{k=0}^{k_1} r_{hk}(x, s) \bar{V}'_k(x) &= Q_h(x); \\ j &= 0, 1, 2, \dots, j_1; \quad h = 0, 1, 2, \dots, h_1. \end{aligned} \quad (5)$$

Переменные коэффициенты этих уравнений, выражающие жесткостные характеристики коррозионно повреждаемых железобетонных элементов складчатой системы, вычисляются интегрированием соответствующих единичных эпюр функций:

Единичные функции поперечного распределения перемещений (ξ_i , η_k) выбираются непрерывными и удовлетворяющими принятым гипотезам и граничным условиям так же, как и для упругих систем.

Алгебраизация уравнений (6) выполнена методом неопределенных коэффициентов с использованием усеченных степенных рядов.

$$\begin{aligned} a_{ji}(x, s) &= \int_0^b D_{11}^*(x) \xi_j(s) \xi_i(s) ds, \quad a_{ji}(x, s) = a_{ij}(x, s); \\ b_{jk}(x, s) &= \int_0^b D_{13}^*(x) \xi_j(s) \eta_k(s) ds, \quad b_{jk}(x, s) = \pm b_{kj}(x, s); \\ b_{hi}(x, s) &= \int_0^b D_{13}^*(x) \eta_h(s) \xi_i(s) ds, \quad b_{hi}(x, s) = \pm b_{ih}(x, s); \\ r_{hk}(x, s) &= \int_0^b D_{33}^*(x) \eta_h(s) \eta_k(s) ds, \quad r_{hk}(x, s) = r_{kh}(x, s). \end{aligned} \quad (6)$$

В результате система разрешающих алгебраических уравнений по определению коэффициентов разложена в степенные ряды:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i=0}^{i_1} \left(a_{jin-1} U_{i1} + 2a_{jin-2} U_{i2} + 3a_{jin-3} U_{i3} + ma_{ji0} U_{im} \right) + \\
 & + \sum_{k=0}^{k_1} \left(b_{jkn-1} \bar{V}_{k1} + 2b_{jkn-2} \bar{V}_{k2} + 3b_{jkn-3} \bar{V}_{k3} + mb_{jk0} \bar{V}_{km} \right) = P_{jn-1}; \\
 & \sum_{i=0}^{i_1} \left(b_{hin-1} U_{i1} + 2b_{hin-2} U_{i2} + 3b_{hin-3} U_{i3} + mb_{hi0} U_{im} \right) + \\
 & + \sum_{k=0}^{k_1} \left(r_{hkn-1} \bar{V}_{k1} + 2r_{hkn-2} \bar{V}_{k2} + 3r_{hkn-3} \bar{V}_{k3} + mr_{hk0} \bar{V}_{km} \right) = Q_{hn-1},
 \end{aligned} \tag{7}$$

где a_{jin} , b_{jkn} , r_{hkn} – коэффициенты разложений жесткостных параметров в степенные ряды.

В соответствии с такой моделью на каждой итерации в расчет вводится некоторое сплошное эквивалентное сечение граней складки с корректировкой его толщины из условия равенства жесткостей заданной и эквивалентной грани на изгиб в ее плоскости.

Алгебраические уравнения (7) можно записать в виде векторного уравнения:

$$L\vec{W} = \vec{P}, \tag{8}$$

где L – матрица приведенных жесткостных и геометрических характеристик складчатой системы; W – вектор коэффициентов перемещений; P – вектор коэффициентов внешней нагрузки.

Матрица линейного преобразования (8) имеет блочную структуру и представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Матрица жесткостных характеристик складки

A_{00}	A_{01}	A_{02}	0	....	0	B_{00}	B_{01}	B_{02}	0	....	0
A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	....	0	B_{10}	B_{11}	B_{12}	B_{13}	....	0
A_{20}	A_{21}	A_{22}	A_{23}	....	0	B_{20}	B_{21}	B_{22}	B_{23}	....	0
0	A_{31}	A_{32}	A_{33}	....	0	0	B_{31}	B_{32}	B_{33}	....	0
...	...	...	...	...	$A_{(i-1)i}$	...	...	...	...	...	$B_{(k-1)k}$
0	0	0	0	$A_{i(i-1)}$	A_{ii}	0	0	0	0	$B_{k(k-1)}$	B_{kk}
B_{00}	B_{01}	B_{02}	0	....	0	R_{00}	R_{01}	R_{02}	0	....	0
B_{10}	B_{11}	B_{12}	B_{13}	....	0	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	....	0
B_{20}	B_{21}	B_{22}	B_{23}	....	0	R_{20}	R_{21}	R_{22}	R_{23}	....	0
0	B_{31}	B_{32}	B_{33}	....	0	0	R_{31}	R_{32}	R_{33}	....	0
...	...	...	...	...	$B_{(i-1)i}$	...	...	...	...	...	$R_{(k-1)k}$
0	0	0	0	$B_{i(i-1)}$	B_{ii}	0	0	0	0	$R_{k(k-1)}$	R_{kk}

Подматрицы блочной матрицы L имеют следующую структуру:

$$\begin{aligned}
 A_{ji} &= \begin{vmatrix} a & 0 & 0 & \dots & 0 \\ a & 3a & 0 & \dots & 0 \\ a & 4a & 5a & \dots & 0 \\ a & 3a & 5a & \dots & ma \end{vmatrix} \quad B_{in} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 2b & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 2b & 4b & 0 & \dots & 0 \\ 2b & 4b & 6b & \dots & 0 \end{vmatrix} \\
 B_{hi} &= \begin{vmatrix} b & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b & 3b & 0 & \dots & 0 \\ b & 3b & 5b & \dots & 0 \\ b & 3b & 5b & \dots & 0 \end{vmatrix} \quad R_{hg} = \begin{vmatrix} 2r & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 2r & 4r & 0 & \dots & 0 \\ 2r & 4r & 6r & \dots & 0 \\ 2r & 4r & 6r & \dots & mr \end{vmatrix}
 \end{aligned} \tag{9}$$

Полученные расчетные зависимости позволяют строить вычислительный алгоритм расчета железобетонных коротких призматических складок с трещинами при одновременном проявлении силового нагружения и коррозионных повреждений во времени. Уместно также заметить, что в работе рассмотрена некоторая феноменологическая модель в виде функции траектории повреждений k , которая применительно к конкретным условиям средовых повре-

ждений должна быть определена из граничных условий в момент времени $t=0$ – начало эксплуатации конструкции, и в рассматриваемый момент времени t с использованием известных деградационных моделей, например [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 52-117-2008. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Часть 1. Методы расчета и конструирование [Текст]. – Введ. 2008-08-01. – М.: ФГПУ НИЦ Строительство, 2008. – 150 с.
2. Осовских, Е.В. Деформирование, трещинообразование и разрушение эксплуатируемых железобетонных складчатых покрытий в предельных и запредельных состояниях [Текст] / Е.В. Осовских, В.И. Колчунов, П.А. Афонин // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2013. – №1. – С. 26–32.
3. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона [Текст]. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
4. Голышев, А.Б. Сопротивление железобетона [Текст] / А.Б. Голышев, В.И. Колчунов. – Киев. «Основа», 2009. – 432 с.
- Бондаренко, В.М. К расчету сооружений, меняющих расчетную схему вследствие коррозионных повреждений [Текст] / В.М. Бондаренко, Н.В. Клюева // Известия вузов. Строительство, 2008. – №1. – С. 4-12.
5. Милейковский, И.Е. Рекомендации по выбору расчетных схем и методов расчета оболочек покрытий [Текст] / И.Е. Милейковский, В.И. Колчунов, А.А. Соколов. – Москва, 1987. – 177 с.
6. Модели разрушения строительных композитов под действием агрессивных сред [Текст] / В.П. Селяев, Т.А. Низина // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. – М., 2009. – Вып. 8. – С. 490-508.

П.А. Афонин

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел
Аспирант
E-mail: pashy16@yandex.ru

В.И. Колчунов

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции и материалы»
E-mail: skimkafedra@yandex.ru

Е.В. Осовских

Орловский академический научно-творческий центр РААСН, г. Орел
Кандидат технических наук
E-mail: jane_wasp@mail.ru

P. AFONIN, V. KOLCHUNOV, E. OSOVSKIH

DEFORMATION OF OPERATING REINFORCED CONCRETE PRISMATIC SHELL STRUCTURES WITH CRACKS

On the basis of experimental study on prismatic folded plates the work presents some propositions to calculation of such structures taking into account loading and environment action. As a calculation method for deformation analysis of such structural systems at various loading levels the authors use variation method developed by V. Vlasov and method of gradual loading.

Keywords: deformation; reinforced concrete prismatic shell structures; environment action.

BIBLIOGRAPHY

1. SP 52-117-2008. Zhelezobetonnye prostranstvennye konstrukcii pokrytij i perekrytij. Chast' 1. Metody rascheta i konstruirovaniye [Tekst]. – Vved. 2008-08-01. – M.: FGPU NIC Stroitel'stvo, 2008. – 150 s.
2. Osovskih, E.V. Deformirovaniye, treshhinoobrazovaniye i razrushenie jeksploatiruemyh zhelezobeton-nyh

skladchatyh pokrytij v predel'nyh i zapredel'nyh sostojanijah [Tekst] / E.V. Osovskih, V.I. Kolchunov, P.A. Afonin // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2013. – №1. – S. 26-32.

3. Karpenko N.I. Obshchie modeli mehaniki zhelezobetona [Tekst]. – M.: Strojizdat, 1996. – 416 s.

4. Golyshev, A.B. Soprotivlenie zhelezobetona [Tekst] / A.B. Golyshev, V.I. Kolchunov. – Kiev. «Osnova», 2009. – 432 s.

Bondarenko, V.M. K raschetu sooruzhenij, menjajushhih raschetnuju shemu vsledstvie korrozionnyh povrezhdenij [Tekst] / V.M. Bondarenko, N.V. Kljueva // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo, 2008. – №1. – S. 4-12.

5. Milejkovskij, I.E. Rekomendacii po vyboru raschetnyh shem i metodov rascheta obolochek pokrytij [Tekst] / I.E. Milejkovskij, V.I. Kolchunov, A.A. Sokolov. – Moskva, 1987. – 177 s.

6. Modeli razrushenija stroitel'nyh kompozitov pod dejstviem agressivnyh sred [Tekst] / V.P. Seljaev, T.A. Nizina // Predotvratshenie avarij zdanij i sooruzhenij: sb. nauch. tr. – M., 2009. – Vyp. 8. – S. 490-508.

P. Afonin

State university – educational-science-production complex, Orel

Post-graduate student

E-mail: pashy16@yandex.ru

V. Kolchunov

State university – educational-science-production complex, Orel

Academician RAABS, doctor of technical science, professor, head of department «Building designs and materials»

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

E-mail: skimkafedra@yandex.ru

E. Osovskyh

Oryol academic scientific and creative center of RAABS, Orel

Candidate of technical science

E-mail: jane_wasp@mail.ru

ГОРЕЗА В.И.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ УТЕПЛИТЕЛЯ В СТЕНОВОМ ОГРАЖДЕНИИ ЖИЛОГО ДОМА

Рассмотрены различные методы определения толщины утеплителя многослойной стены жилого дома для обеспечения теплозащиты здания: на основе существующего метода расчета согласно СНиП 23-02-2003 [1] «Тепловая защита здания», минимизации приведенных затрат по Л.Д. Богуславскому [2] и на основе математической модели определения срока окупаемости дополнительных затрат на устройство утеплителя по предложению В.Г. Гагарина [3].

Ключевые слова: ограждение; утеплитель; теплопроводность; приведенные затраты; тепловая энергия.

Тепловой режим здания обеспечивается работой систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха и зависит от теплозащитных свойств ограждающих конструкций [1].

Ограждающие конструкции должны иметь необходимую теплозащиту. Для наружных ограждений рекомендуется применять многослойные конструкции с использованием эффективных утеплителей с целью сокращения потребления тепловой энергии на отопление.

Теплозащитные свойства наружных ограждений определяются двумя показателями: сопротивлением теплопередаче R [$\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$] и теплоустойчивостью S [$\text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$]. В соответствии с [1] теплотехнический расчет ограждения начинается с определения расчетного сопротивления теплопередаче R , которое должно быть не менее требуемого сопротивления теплопередаче для обеспечения:

- санитарно-гигиенических условий:

$$R_{mp} = \frac{n(t_e - t_h)}{\Delta t \cdot \alpha_e}; \quad (1)$$

- и на основе градусо-суток отопительного периода (ГСОП):

$$ГСОП = (t_e - \tau_{от.нep})Z_{от.нep} \quad (2)$$

в зависимости от климатических условий места строительства [4] и расчетной температуры воздуха внутри здания.

Здесь n – коэффициент, учитывающий размещение ограждения по отношению к наружному воздуху; t_e – температура внутри здания, $^{\circ}\text{C}$; t_h – температура наиболее холодной пятидневки, $^{\circ}\text{C}$; Δt – нормируемый перепад температур между воздухом внутри помещения и внутренней поверхностью ограждения, $^{\circ}\text{C}$; α_e – коэффициент теплопередачи от воздуха внутри помещения к внутренней поверхности ограждения, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$; $\tau_{от.нep}$ – средняя температура отопительного периода, $^{\circ}\text{C}$; $Z_{от.нep}$ – продолжительность отопительного периода, сут.

По полученному значению $ГСОП$ для различного типа зданий определяется по таблицам [1] приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций. Для дальнейших расчетов принимается большее значение сопротивления теплопередаче из полученных значений для санитарно-гигиенических условий или на основе $ГСОП$.

Опыт проектных работ показывает, что для климатических условий России требуемое сопротивление теплопередаче R_{mp} , обеспечивающее санитарно-гигиенические условия, в основном получается в два раза и более меньше, по сравнению с приведенным сопротивлением теплопередаче R_{np} , полученным на основе градусо-суток отопительного периода. Поэтому теплозащита ограждающих конструкций рассчитывается по приведенным сопротивлениям теплопередаче R_{np} . В результате сокращается потребление тепловой энергии и снижаются эксплуатационные затраты на отопление. При этом повышается температура на внутренних поверхностях наружных ограждений и улучшаются санитарно-гигиенические условия в помещениях.

Для обеспечения лучших эксплуатационных характеристик ограждающих конструкций утеплитель рекомендуется располагать ближе к наружной поверхности [1].

Толщина слоя утеплителя определяется в зависимости от приведенного сопротивления теплопередаче с учетом конструктивных слоев ограждения:

$$\delta_{ym} = \lambda_{ym} (R_{np} - \frac{1}{\alpha_e} - \frac{1}{\alpha_n} - \sum \frac{\delta_{ki}}{\lambda_{ki}}), \quad (3)$$

где $\frac{1}{\alpha_e}, \frac{1}{\alpha_n}$ – сопротивление теплопередаче от воздуха внутри помещения к внутренней поверхности ограждения и от наружной поверхности ограждения к наружному воздуху, $\text{м}^2\text{C}/\text{Вт}$; $\sum \frac{\delta_{ki}}{\lambda_{ki}}$ – сопротивление теплопередаче конструктивных слоев многослойного ограждения, $\text{м}^2\text{C}/\text{Вт}$.

Из приведенных формул видно, что при проектировании теплозащитных свойств ограждающих конструкций учитываются климатические условия места строительства и теплофизические характеристики строительных материалов. Стоимостные показатели отсутствуют.

Анализ климатических условий показывает, что между регионами России имеется значительная разница значений по температурам наружного воздуха за отопительный период и по продолжительности отопительного периода [4]. Соответственно, отличаются расходы теплоты на отопления по регионам.

Расход теплоты на отопление и теплозащита здания определяют эксплуатационные и капитальные затраты.

Существующая методика расчета теплозащиты здания не учитывает зависимость между эксплуатационными затратами на отопление и капитальными затратами на устройство утеплителя в ограждающих конструкциях. Эти два показателя имеют взаимообратную зависимость. При увеличении капитальных затрат (толщины утеплителя) уменьшаются теплопотери и, соответственно, уменьшаются затраты на отопление. В данном случае имеет место оптимальное соотношение между капитальными и эксплуатационными затратами, которые должны соответствовать минимуму приведенных затрат при определенной толщине утеплителя. Данный метод минимизации приведенных затрат был исследован Л.Д. Богуславским [2].

Для нахождения минимума приведенных затрат составим уравнение, в котором капитальные затраты выразим через конструктивное решение многослойного ограждения и их стоимость, а эксплуатационные затраты – через расход тепловой энергии и ее стоимость. При составлении уравнения учитываются теплотехнические свойства конструктивных слоев ограждения, которые предназначены для обеспечения несущей способности и устойчивости здания и являются независимой постоянной величиной. Переменной величиной принята толщина утеплителя, который предназначен для снижения теплопотерь и, соответственно, для сокращения потребления тепловой энергии:

$$\Pi = \sum \delta_{ki} \cdot C_{ki} + \delta_{ym} \cdot C_{ym} + \frac{(t_e - \tau_{om.nep})0,024}{\left(\frac{1}{\alpha_e} + \frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_{ki}}{\lambda_{ki}} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} \right)} \cdot S_{ok} \cdot C_{\vartheta_n} \cdot Z_{om.nep}, \quad (4)$$

δ_{ki}, δ_{ym} – толщины конструктивных слоев ограждения и утеплителя, м; $C_{ki}, C_{ym}, C_{\vartheta_n}$ – стоимость конструктивных слоев, утеплителя и тепловой энергии, руб./ м^3 , руб./Квт-ч; $t_e, \tau_{om.nep}$ – температура внутренняя и средняя температура отопительного периода, $^{\circ}\text{C}$; α_e, α_n – коэффициенты теплопередачи на внутренней и наружной поверхностях ограждения, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{C})$; $\lambda_{ki}, \lambda_{ym}$ – коэффициенты теплопроводности конструктивных слоев ограждения и утеплителя, $\text{Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$; S_{ok} – нормативный срок окупаемости [2], лет; $Z_{om.nep}$ – продолжительность отопительного периода, сут.

Найдем первую производную приведенных затрат, приняв за переменную величину толщины утеплителя, и определим толщину утеплителя, соответствующую минимуму приведенных затрат.

$$\frac{d\Pi}{d\delta} = C_{ym} - \frac{(t_e - \tau_{om.nep}) \cdot \frac{0,024}{\lambda_{ym}} \cdot S_{ok} \cdot C_{\vartheta_n} \cdot Z_{om.nep}}{\left(\frac{1}{\alpha_e} + \frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_{ki}}{\lambda_{ki}} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} \right)^2} = 0. \quad (5)$$

После преобразования получим формулу для определения толщины утеплителя, соответствующую минимуму приведенных затрат:

$$\delta_{ym} = \sqrt{(t_e - \tau_{om.nep})0,024 \cdot Z_{om.nep} \cdot S_{ok} \frac{C_{\vartheta n}}{C_{ym}} \lambda_{ym} - \left(\frac{1}{\alpha_e} + \frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_{ki}}{\lambda_{ki}} \right) \cdot \lambda_{ym}}. \quad (6)$$

Первый член формулы 6 представляет собой толщину утеплителя эквивалентную по теплопередаче всей ограждающей конструкции, второй член – толщину утеплителя эквивалентную по сопротивлению теплопередаче конструктивной части ограждения.

На примере климатических условий и стоимостных показателей единовременных и эксплуатационных затрат были получены для г. Орел значения толщин утеплителей пенопласта и керамзита в стеновом ограждении жилого дома.

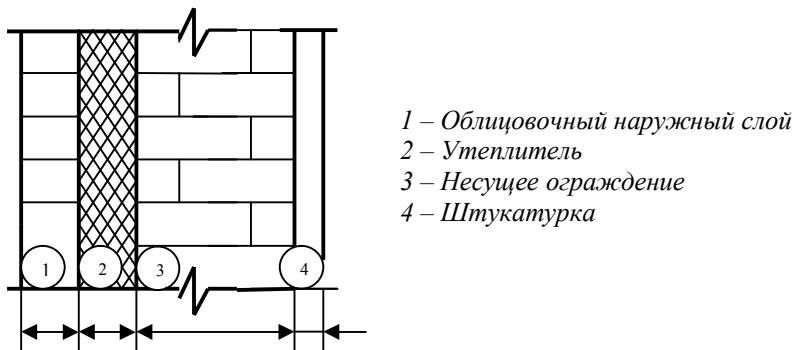


Рисунок 1 – Конструктивная схема наружной стены

Исходные данные для расчета толщины утеплителя для условий города Орла: $t_e=20^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{от.пер}}=-3,3^{\circ}\text{C}$, $Z=201$ сут., стоимость пенопласта с учетом строймонтажа и начислений 3124 руб./м³, керамзита – 4600 руб./м³, тепловой энергии – 1,129 руб./Квт·ч. Результаты расчета толщины утеплителя приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета толщины утеплителя

Основание	Наименование утеплителя	Теплопроводность λ (Вт/(м ² ·К))	Толщина утеплителя δ , м
СНиП 23-02-2003 [1]	Пенопласт	0,041	0,096
	Керамзит	0,14	0,327
Минимум приведенных затрат при $S_{ok}=10$ лет	Пенопласт	0,041	0,095
	Керамзит	0,14	0,1

Толщина утеплителя зависит не только от климатических характеристик района строительства и от стоимостных показателей единовременных и капитальных затрат, но и от так называемого нормативного срока окупаемости (S_{ok}), который является заданной величиной.

Сравнение результатов расчетов толщин утеплителей, полученных на основе [1] и по минимуму приведенных затрат при $S_{ok}=10$ лет, показывает, что при использовании утеплителя «пенопласт» толщины совпадают, при использовании утеплителя «керамзит» толщина утеплителя по минимуму приведенных затрат занижена на 71% по сравнению с нормативными требованиями.

Затем для нормативных значений толщин утеплителя были определены нормативные сроки окупаемости по преобразованной формуле (6):

$$S_{ok} = \frac{\left(\left(\frac{1}{\alpha_e} + \frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_{ki}}{\lambda_{ki}} \right) \cdot \lambda_{ym} + \delta_{ym} \right)^2}{\left((t_e - \tau) \frac{C_{\vartheta n}}{C_{ym}} \cdot \lambda_{ym} \cdot 0,024 \cdot Z_{om.nep} \right)}. \quad (7)$$

В результате имеем:

- для пенопласта $S_{ok} = 9,4$ года;
- для керамзита $S_{ok} = 46,9$ года.

Известно, что нормативный срок окупаемости был установлен 8-12 лет. Поэтому керамзит, как утеплитель, не соответствует принятым нормативным срокам окупаемости.

В последние годы опубликовано много научных статей, направленных на теплозащиту ограждающих конструкций зданий. В статье «Методы экономического анализа повышения уровня тепловой защиты зданий» [3] В.Г. Гагарин считает, что метод минимума приведенных затрат нельзя признать удовлетворительным. Одним из недостатков является произвольное назначение нормативного срока окупаемости. В.Г. Гагарином была предложена математическая модель условий окупаемости затрат на повышение теплозащиты ограждающих конструкций с использованием базового варианта, в частности, сопротивления теплопередаче, обеспечивающее санитарно-гигиенические условия.

В данной статье за базовый вариант был принят конструктивный слой ограждения, обеспечивающий несущую способность здания. Тогда дополнительные капитальные затраты [3], направленные на повышение теплозащиты, окупаются в течение:

$$S_{ok, don} = \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}}, \quad (8)$$

где $S_{ok, don}$ – срок окупаемости дополнительных капитальных затрат по математической модели В.Г. Гагарина, лет; ΔK – дополнительные капитальные затраты на устройство утеплителя в ограждении, руб.; $\Delta \mathcal{E}$ – экономия средств на отопление, руб.

Для конструктивного решения стеклового ограждения (рис. 1) имеем:

$$S_{ok, don} = \frac{\left(\frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_{ki}}{\lambda_{ki}}} - \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_{ki}}{\lambda_{ki}} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}}} \right) \delta_{ym} \cdot C_{ym}}{0,024(t_b - \tau_{om, nep}) \cdot Z_{om, nep} \cdot C_{zn}}. \quad (9)$$

Окупаемость дополнительных капитальных затрат по математической модели (8) составит: для утеплителя «пенопласт» толщиной 0,096 м – 2,3 года, для утеплителя «керамзит» толщиной 0,327 м – 11,5 года.

В результате имеем небольшой срок окупаемости дополнительных капитальных затрат для устройства утеплителя, в течение которого не произойдет изменение теплофизических характеристик в ограждении.

Учитывая постоянный рост цен на тепловую энергию, целесообразно увеличить теплозащиту ограждающих конструкций в зависимости от теплофизических характеристик используемых утеплителей.

Выводы

1. Полученные результаты указывают на возможность увеличения тепловой защиты ограждающих конструкций. При этом увеличение толщины утеплителя должно быть решено в комплексе с техническим решением всего ограждения в целом.

2. Учитывая большое количество возможных вариантов конструктивных решений теплозащиты ограждающих конструкций необходимо разработать научно-обоснованные технические решения стекловых ограждений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита здания [Текст]. – М., 2004.
2. Богуславский, Л.Д. Снижение расхода энергии при работе систем отопления и вентиляции [Текст] / Л.Д. Богуславский. – М.: Стройиздат, 1985.
3. Гагарин, В.Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий [Текст] / В.Г. Гагарин // Журнал АВОК, 2009. – №3.

4. СНиП 23-01-99. Строительная климатология [Текст]. – М., 2000.

В.И. Гореза

ФГБОУ ВПО Орел ГАУ «Инженерно-строительный институт»
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Общестроительные дисциплины»
Тел.: +7 910 205 91 68
E-mail: S.M.Astakhov@gmail.com

V. GOREZA

**THE ISSUE OF DETERMINATION OF THE THICKNESS
OF INSULATION IN THE WALL FENCING
OF RESIDENTIAL HOUSE**

Discusses different methods for determining the thickness of the insulation of multi-layered wall of a dwelling house to ensure thermal performance of the building: on the basis of the existing methods of calculation according to SNiP 23-02-2003 [1] «Thermal protection of buildings», minimization of the costs of L.D. Boguslavsky [2], and on the basis of the mathematical model of the payback period of the additional costs on the device of insulation on the proposal of the V.G. Gagarina [3].

Keywords: protection; heat insulation; thermal conductivity; the costs of thermal energy.

BIBLIOGRAPHY

1. SNiP 23-02-2003 Teplovaja zashhita zdaniya [Tekst]. – М., 2004.
2. Boguslavskij, L.D. Snizhenie rashoda jenergii pri rabote sistem otoplenija i ventiljacii [Tekst] / L.D. Boguslavskij. – М.: Strojizdat, 1985.
3. Gagarin, V.G. Metody jekonomiceskogo analiza povyshenija urovnja teplozashhity ogranichivushchih konstrukcij zdanij [Tekst] / V.G. Gagarin // Zhurnal AVOK, 2009. – №3.
4. СНиП 23-01-99. Stroitel'naja klimatologija [Tekst]. – М., 2000.

V. Goreza

Construction engineering institute, Orel
Candidate of technical sciences, associated professor of department «Civil disciplines»
Ph.: +7 910 205 91 68
E-mail: S.M.Astakhov@gmail.com

ДЕРКАЧ В.Н.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАМЕННЫХ ПЕРЕГОРОДОК С ДВЕРНЫМ ПРОЕМОМ ПРИ ПРОГИБЕ ПЕРЕКРЫТИЯ

Приведены результаты натурных экспериментальных исследований каменных перегородок с дверным проемом при прогибе опорного перекрытия. Выявлен характер деформирования и трещинообразования каменной кладки перегородок в зависимости от способа их сопряжения с поперечными стенами, определено значение граничного прогиба опорного перекрытия. Показан характер передачи нагрузки от веса перегородки с дверным проемом на опорное перекрытие. Указано на необходимость корректировки нормативных документов в части предельных значений прогибов конструкций, на которые установлены каменные стены и перегородки.

Ключевые слова: каменные перегородки; дверной проем; трещиностойкость; граничный прогиб перекрытия.

Введение

Современные здания строятся в короткие сроки. По этой причине стеновое заполнение каркасов, а также внутренние стены и перегородки выполняются в условиях, когда возможны деформации железобетонных конструкций здания, вызванные реологическими процессами в бетоне и действием нагрузок, приложенных после возведения каменной кладки. При этом в каменных стенах и перегородках часто возникают повреждения в виде трещин, обусловленные прогибом опорного перекрытия [1, 2, 3]. Практика эксплуатации и обследования зданий показывает, что прогиб перекрытия приводит к раскрытию шва между опорной конструкцией и каменной кладкой стен и перегородок, вследствие чего последние начинают работать как балки-стенки, опертые по концам и нагруженные собственным весом. В результате в коротких стенах и перегородках наблюдается арочный эффект с появлением косых трещин, в то же время в длинных стенах и перегородках доминирует изгибающий момент, вызывающий появление вертикальных либо горизонтальных трещин. Наиболее подвержены растрескиванию при прогибах перекрытий стены и перегородки, имеющие проемы. Как правило, в углах проема возникают наклонные или горизонтальные трещины. Характер трещин зависит от соотношения высоты и длины стены или перегородки, места и степени их перфорации, качества перевязки кладки с примыкающими конструкциями, вида, прочностных и деформационных характеристик кладки.

Появление трещин в каменных стенах и перегородках нормами всех стран рассматривается как нарушение предельного состояния эксплуатационной пригодности. В нормативных документах критерием эксплуатационной пригодности каменных стен и перегородок является граничное значение прогиба опорного перекрытия. При этом в нормах разных стран (СП 20.13330.2011, Еврокод 2, ACI 530-05/TMS 402-05, DIN 1045-1: 2001) приводятся различные данные, касающиеся числовых значений граничных прогибов перекрытий, которые не зависят от вида каменной кладки, ее прочностных и деформационных характеристик, а также конструктивных особенностей стен и перегородок [4, 5]. Данное обстоятельство не позволяет гарантировать отсутствие трещин в каменных конструкциях при достижении опорным перекрытием граничных прогибов, соответствующих требованиям упомянутых нормативных документов. Необходимо отметить, что граничные прогибы опорных конструкций, установленные в вышеуказанных нормах, получены в 60-х годах прошлого столетия на основании натурных обследований стен и перегородок эксплуатируемых зданий и до сих пор не имеют достаточно-го экспериментально-теоретического обоснования [6].

В технической литературе практически отсутствует информация о напряженно-деформированном состоянии (НДС) каменных стен и перегородок при прогибах опорных перекрытий. Причина заключается в малочисленности и разрозненности экспериментальных и теоретических исследований указанных конструкций и отсутствии обобщенного анализа этих исследований.

Поэтому цель настоящей работы заключалась в получении экспериментальных данных об НДС каменных перегородок с дверными проемами при прогибах опорного перекрытия и обоснование принятых в нормативных документах положений, касающихся значений граничных прогибов перекрытий.

Методика экспериментальных исследований. Испытаниям подвергались две межкомнатные кирпичные перегородки с центральными дверными проемами. Перегородки были выполнены толщиной в полкирпича высотой 3,07 м и имели в середине пролета дверной проем высотой 2,1 м и шириной 0,99 м. Дверной проем перегородок перекрывался тремя арматурными стержнями Ø12 мм, заанкеренными в горизонтальных швах кладки на длину 250 мм. Между нижней плоскостью вышележащего перекрытия и верхней гранью перегородок имелся зазор высотой 15...30 мм. Кладка перегородок выполнялась из пустотелого керамического кирпича М125 пустотностью 18% на цементном растворе М30. Перегородки были установлены вдоль пролетов плит пустотного настила длиной 5,7 м, которые в свою очередь опирались на ригели сборного каркаса.

Одна из перегородок с дверным проемом посредством перевязки камней была жестко сопряжена с кладкой поперечных стен толщиной 250 мм. Во второй перегородке были выполнены вертикальные сквозные пропилы шириной 10 мм вдоль линии ее сопряжения с поперечными стенами. Это позволило исключить влияние на НДС перегородки перевязки ее кладки со смежными конструкциями.

Прогиб перекрытия создавался путем нагружения плиты, на которой установлена перегородка, двумя сосредоточенными силами, приложенными в центре пролета. Сосредоточенная нагрузка на опорную плиту передавалась при помощи гидравлических домкратов грузоподъемностью 100 кН, установленными враспор с верхними плитами перекрытия, которые в свою очередь были поэтажно раскреплены винтовыми стойками. Нагрузка прикладывалась ступенями таким образом, чтобы приращение прогиба плиты на каждой ступени нагружения составляло 1...2 мм. Величина прогиба перекрытия фиксировалась прогибомерами Аистова с ценой деления 0,01 мм в третях и центре пролета плиты. Ширина раскрытия шва между перегородкой и диском перекрытия измерялась при помощи индикаторов перемещений часового типа с ценой деления 0,01 мм, установленных вдоль перегородки с шагом 200...500 мм. Деформации каменной кладки определялись по индикаторам перемещений часового типа с ценой деления 0,001 мм с базой 200...250 мм. Длина зоны контакта перегородки с перекрытием устанавливалась по показаниям приборов и контролировалась при помощи набора стальных щупов 2 класса точности с минимальной толщиной 0,02 мм.

Результаты испытаний перегородки, не связанной с поперечными стенами. Схема перегородки с расстановкой приборов для измерения деформаций каменной кладки и прогибов плиты перекрытия показана на рисунке 1.

С увеличением прогибов перекрытия вертикальные перемещения простенков перегородки, расположенных по правую и левую сторону от проема, нарастили не равномерно. В диапазоне прогибов перекрытия $u = 1...3$ мм более высокие значения максимальных вертикальных перемещений имели место в левом простенке. В какой-то степени это объясняется тем, что его длина по сравнению с правым простенком была больше примерно на 330 мм.

При прогибе перекрытия около 3,5 мм произошло выравнивание максимальных значений перемещений правого и левого простенков. Дальнейшее увеличение прогиба перекрытия вызывало опережающее нарастание вертикальных перемещений в правом простенке. Графики изменения прогибов перекрытия и перегородки показаны на рисунке 2. Максимальная величина прогиба перекрытия u , достигнутая в ходе испытаний, составила 6 мм, а вертикальных перемещений перегородки $u_a = 1,3$ мм.

На первом этапе нагружения при прогибе перекрытия $u = 1$ мм его контакт с правым простенком перегородки сохранялся на длине примерно 300 мм, а с левым простенком – на длине около 250 мм. При максимальном прогибе перекрытия $u = 6$ мм длина контакта правого простенка перегородки с перекрытием не превышала 100 мм, левого – 85 мм.

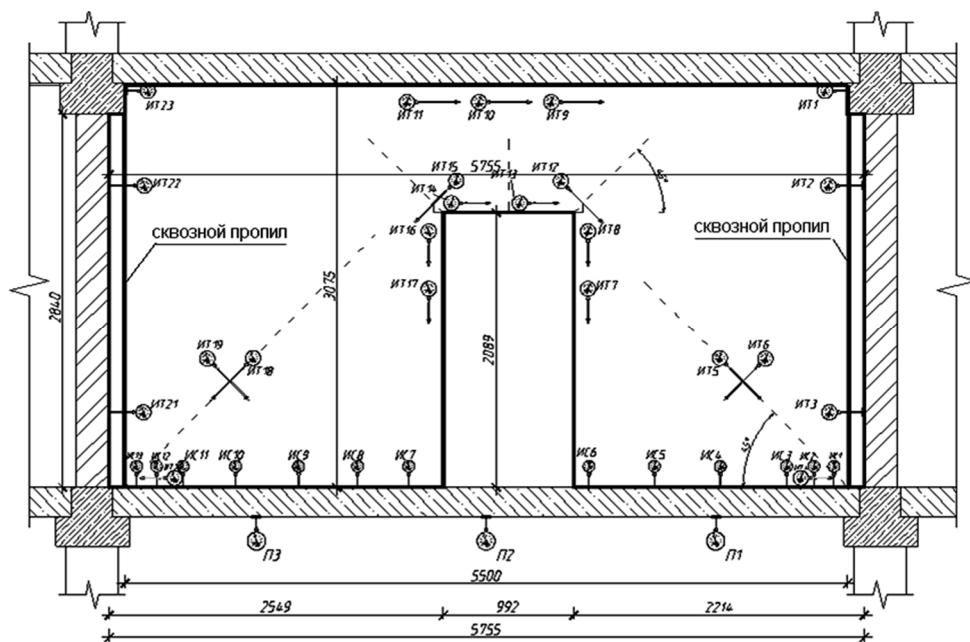


Рисунок 1 – Схема перегородки, не связанной с поперечными стенами, с расстановкой приборов (ИТ – индикаторы перемещений точностью 0,001 мм, ИС – индикаторы перемещений точностью 0,01 мм, П – прогибомеры Аистова точностью 0,01 мм)

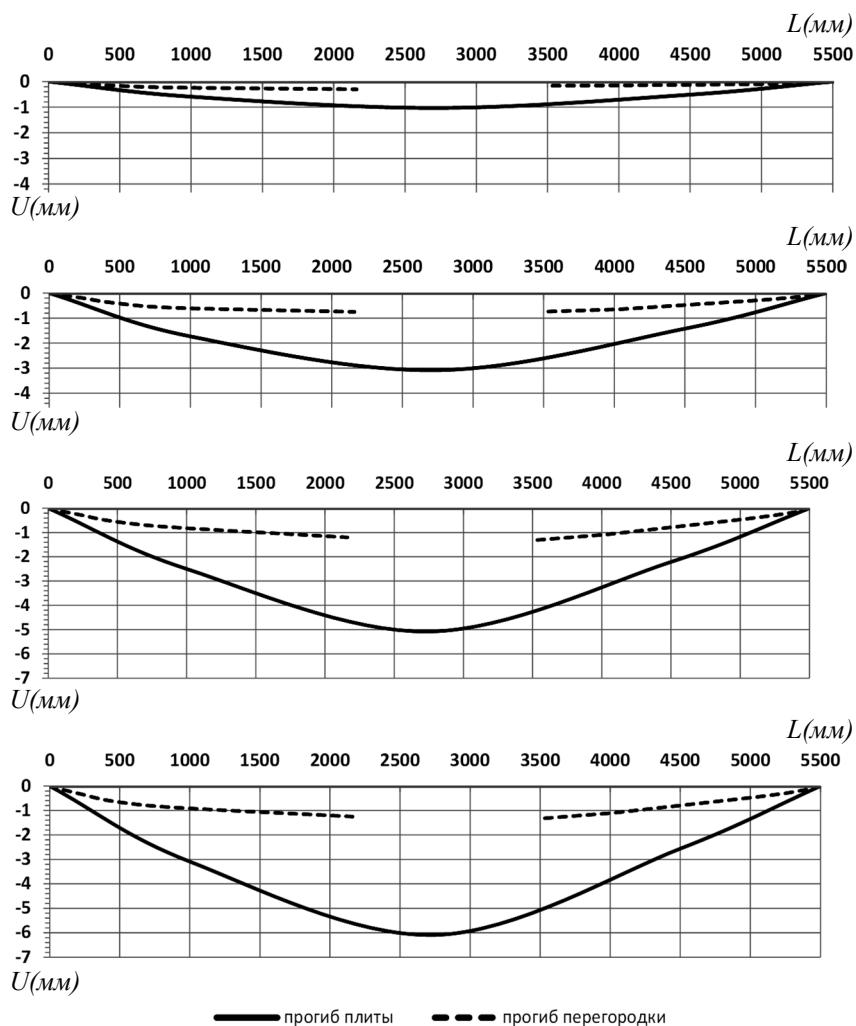


Рисунок 2 – Графики прогибов плиты перекрытия и перегородки, не связанной с поперечными стенами, на различных этапах нагружения

Согласно СНиП 2.01.07-85* и СП 20.13330.2011, нормативные значения нагрузок на ригели и плиты перекрытий от веса временных перегородок принимаются в зависимости от их конструкции, расположения и характера опирания на перекрытия и стены. При этом в упомянутых нормах отсутствуют конкретные указания, касающиеся характера передачи нагрузок от каменных стен и перегородок на плиты перекрытия. Указанные нагрузки допускается учитывать как равномерно распределенные добавочные нагрузки, принимая их нормативные значения на основании расчета для предполагаемых схем размещения перегородок, но не менее 0,5 кПа.

В технической литературе [7, 8] содержатся указания, согласно которым 60% нагрузки от веса перегородки с проемом передается на опорное перекрытие как равномерно распределенная нагрузка по длине простенков, а остальные 40% – в виде сосредоточенных сил, приложенных на расстоянии $1/3$ длины простенков от их наружных краев. Такой характер передачи нагрузки не предполагает разрыва контакта между перегородкой и перекрытием при прогибе последнего, что противоречит полученным в ходе испытаний результатам.

С увеличением прогибов перекрытия происходил изгиб надпроемного пояса каменной кладки, при этом его нижняя грань удлинялась, а верхняя укорачивалась (рис. 4).

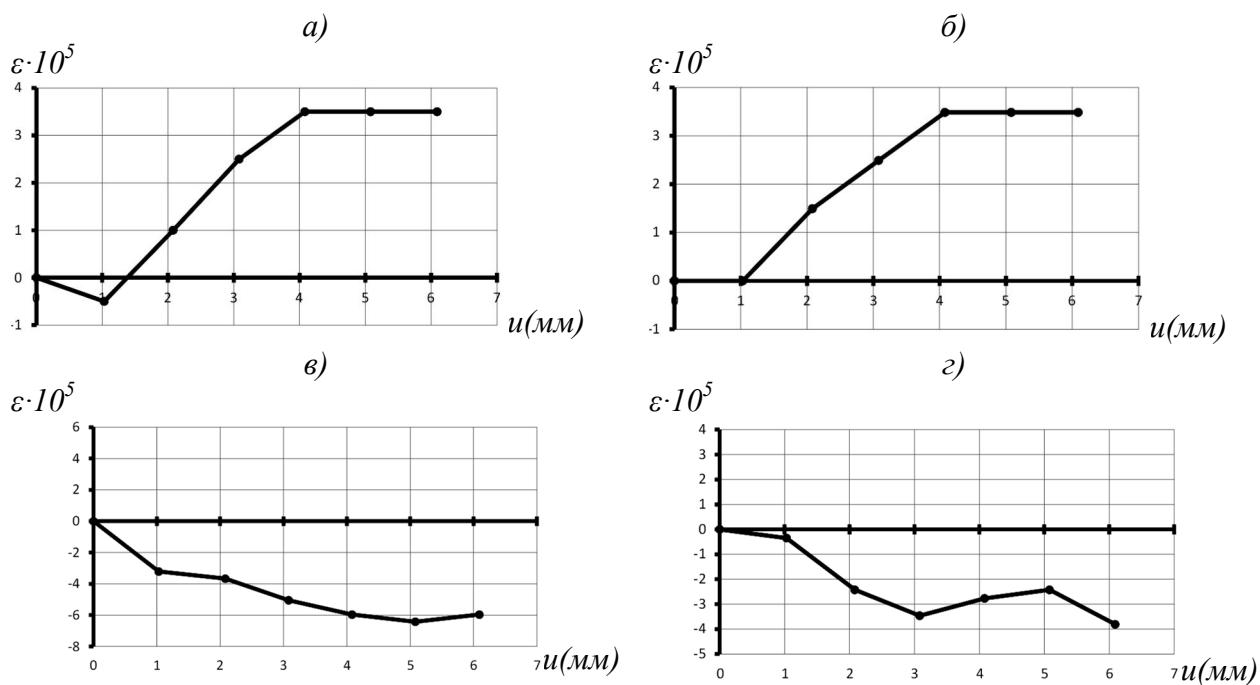


Рисунок 4 – Графики изменения относительных деформаций ε каменной кладки над проемом в зависимости от прогиба перекрытия и в точках:
а – ИТ13; б – ИТ14; в – ИТ9; г – ИТ10

Характер деформирования надпроемного пояса кладки свидетельствует о том, что он находится в условиях внецентренного сжатия с двухзначной эпюрои напряжений.

Изгиб кладки над проемом приводил к концентрации растягивающих напряжений в углах проема. На рисунке 4 показаны графики относительных деформаций каменной кладки вблизи верхних углов дверного проема под углом 45° к горизонтальным растворным швам. На начальных этапах нагружения при прогибе перекрытия $u < 2$ мм вблизи левого угла дверного проема имели место деформации укорочения (рис. 4, а), при этом у правого угла кладка не деформировалась (рис. 4, б). Такой характер НДС кладки на первых этапах нагружения объясняется нелинейной работой контактной зоны между опорным перекрытием и перегородкой.

При прогибе перекрытия $u = 2$ мм в кладке перегородки была зафиксирована трещина, развивающаяся от верхнего левого угла дверного проема вдоль горизонтального растворного шва. Появление данной трещины, вероятнее всего, было вызвано некачественным заполнением шва из-за заведенных в него арматурных стержней перемычки. С увеличением прогиба перекрытия с 2 мм до 4 мм в угловых зонах кладки происходил резкий рост деформаций удли-

нения. После достижения прогиба перекрытия $u = 4$ мм рост деформаций у правого угла проема прекратился. У левого угла нарастание деформаций остановилось при $u = 5$ мм. При увеличении прогиба перекрытия с 5 мм до 6 мм у правого угла проема имел место скачек деформаций удлинения и визуально зафиксирована трещина, имеющая ступенчатую траекторию, проходящую по вертикальным и горизонтальным растворным швам. В первом ряду кладки над проемом образовались трещины, развивающиеся по вертикальным растворным швам. Характер трещинообразования показан на рисунке 5.

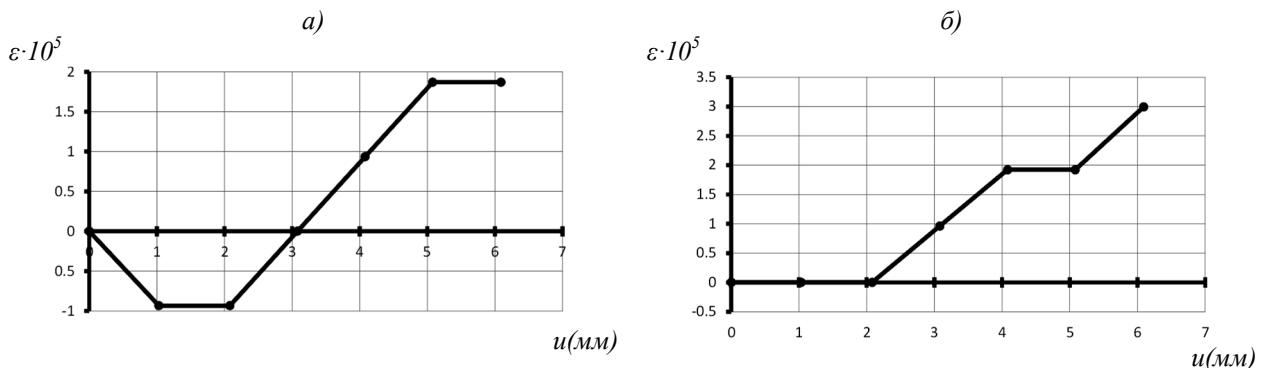


Рисунок 4 – Графики изменения относительных деформаций ε каменной кладки над проемом в зависимости от прогиба перекрытия и в точках: а – ИТ15; б – ИТ12



Рисунок 5 – Характер трещинообразования в перегородке, не связанной со стенами

Таким образом, относительный прогиб перекрытия, при котором возникла зигзагообразная трещина в угловой зоне дверного проема, составил примерно $L/1160$. Следует отметить положительную роль армирования, выполняющего функции перемычки и частично воспринимающего растягивающие напряжения. Без армирования появление трещин в кладке следует ожидать значительно раньше.

В ходе испытаний деформации удлинения в направлении перпендикулярном горизонтальным растворным швам имели место вдоль вертикальных граней проема. Величина указанных деформаций убывала с удалением от верхней горизонтальной грани проема. Деформации удлинения в направлении горизонтальных швов кладки были зафиксированы в области нижних углов перегородки вблизи зон ее контакта перекрытием.

Результаты испытаний перегородки, перевязанной с поперечными стенами. Схема перегородки с расстановкой приборов показана на рисунке 6.

На начальных этапах нагружения при прогибах опорного перекрытия до 2 мм максимальные значения вертикальных перемещений перегородки, у которой связь со стенами отсутствовала, превышали перемещения перевязанной перегородки примерно в 2 раза. При

далнейшем увеличении прогибов перекрытия разница в значениях вертикальных перемещений перегородок уменьшилась до 1,2 раза. Графики прогибов перегородки в зависимости от прогибов опорного перекрытия показаны на рисунке 7.

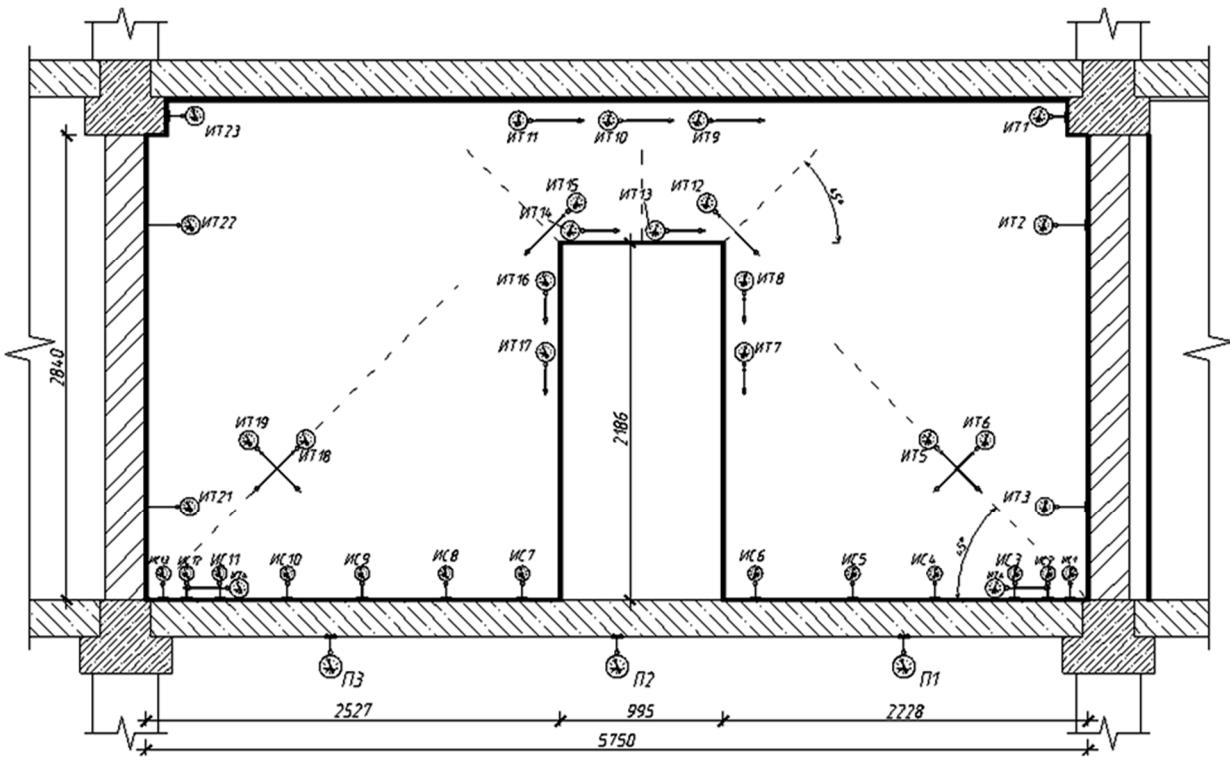


Рисунок 6 – Схема перегородки, перевязанной с поперечными стенами, с расстановкой приборов (ИТ – индикаторы перемещений точностью 0,001 мм, ИС – индикаторы перемещений точностью 0,01 мм, П – прогибомеры Аистова точностью 0,01 мм)

В ходе испытаний был достигнут прогиб перекрытия 5,7 мм, максимальный прогиб перегородки при этом составил 1 мм. Дальнейшее увеличение прогиба опорного перекрытия было прекращено из-за раскрытия трещин в плитах пустотного настила.

На первом этапе нагружения при прогибе перекрытия $u = 1,2$ мм длина зоны его контакта с перегородкой составляла около 100 мм. Когда прогиб перекрытия имел максимальное значение $u = 5,3$ мм длина зоны контакта не превышала 80 мм.

При прогибе перекрытия до 2 мм вдоль нижней и верхней граней каменной кладки над дверным проемом имели место деформации укорочения (рис. 8). При этом максимальные значения относительных деформаций в нижней зоне кладки были приблизительно в 3 раза ниже значений относительных деформаций в верхней зоне. Это свидетельствует о том, что пояс кладки над проемом находится в условиях внецентренного сжатия, при этом все его сечение сжато. При прогибе перекрытия $u > 4$ мм в надпроемном участке кладки начали нарастать деформации удлинения, что можно объяснить возросшей податливостью соединения перегородки с поперечными стенами. Тем не менее, до достижения максимального прогиба перекрытия всё сечение кладки над дверным проемом оставалось сжатым. Данное обстоятельство объясняется стеснением продольных деформаций перегородки поперечными стенами. Это благоприятно сказывается на трещиностойкости кладки в области верхних углов дверного проема, которые на всех этапах нагружения находились в условиях сжатия.

Деформации удлинения кладки в направлении, перпендикулярном горизонтальным растворным швам, были зафиксированы вдоль вертикальных граней проема. Однако их величина была ниже, чем в неперевязанной перегородке. В области нижних углов перегородки вблизи зон контакта имели место деформации удлинения кладки вдоль горизонтальных растворных швов. При этом их величина была в 1,5...2 раза выше, чем в перегородке, не связанный с поперечными стенами.

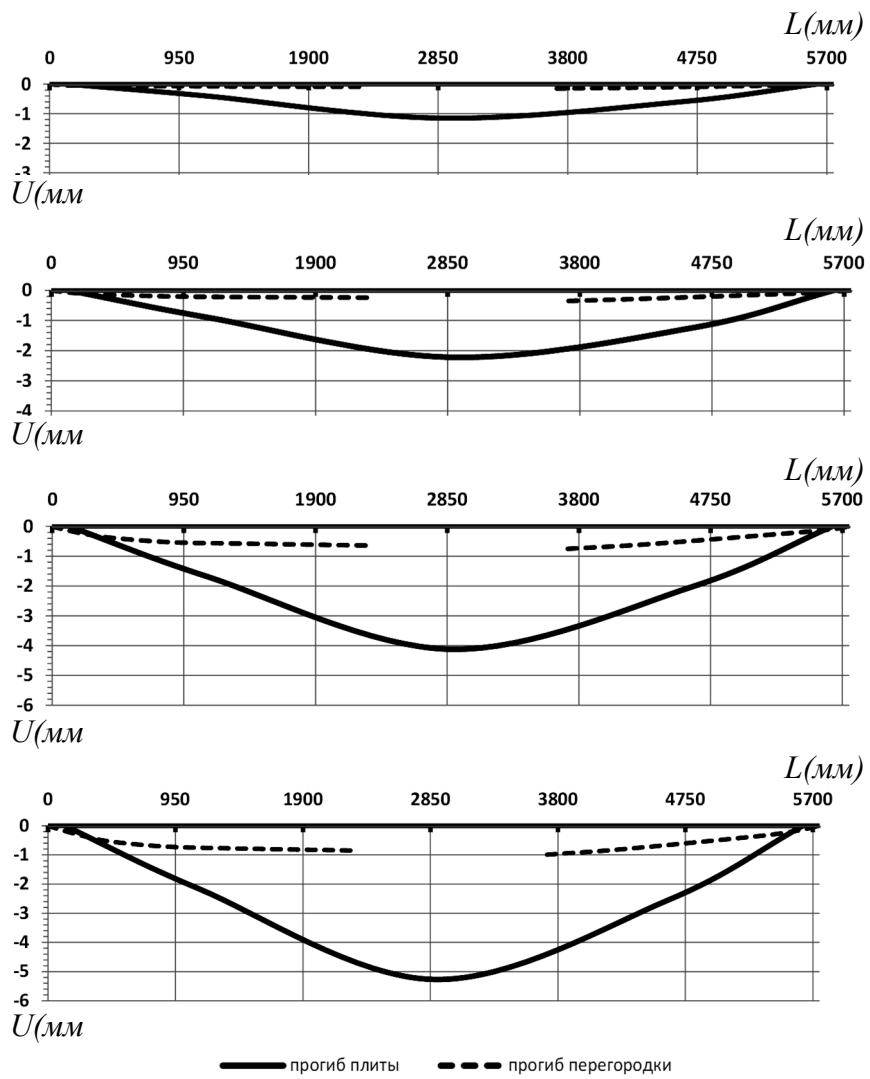


Рисунок 7 – Графики прогибов плиты перекрытия и перегородки, сопряженной с поперечными стенами на различных этапах нагружения

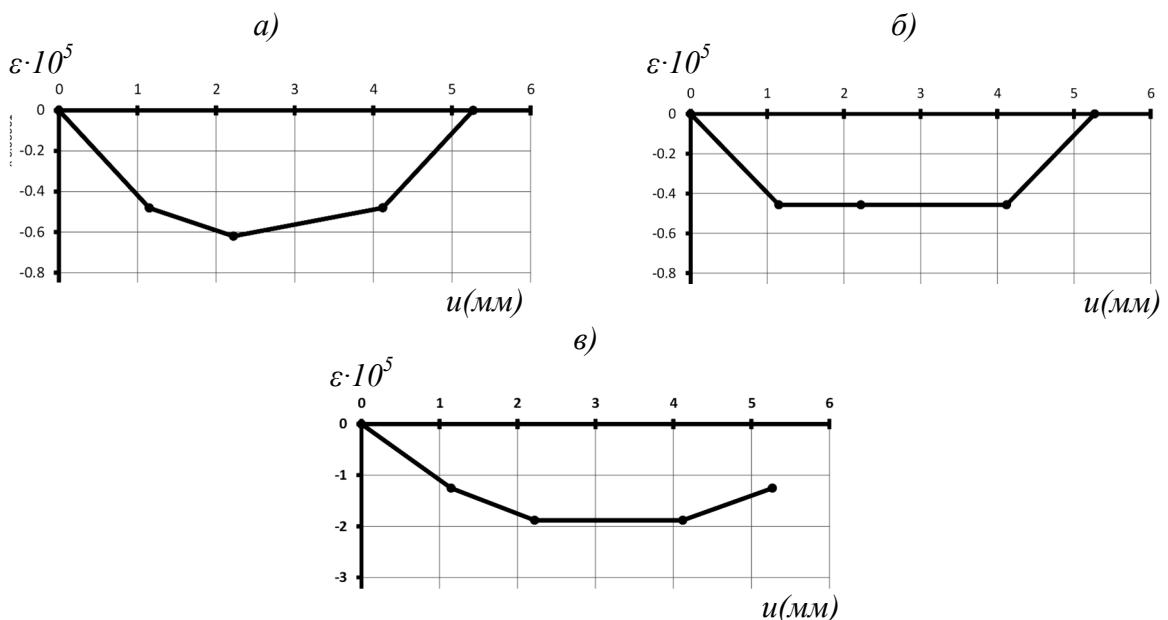


Рисунок 8 – Графики изменения относительных деформаций ε каменной кладки над проемом в зависимости от прогиба перекрытия и в точках: а – ИТ13; б – ИТ14; в – ИТ10

При максимальном прогибе опорного перекрытия образования трещин в перегородке не обнаружено.

Заключение

По результатам экспериментальных исследований перегородок с проемами при прогибе опорного перекрытия можно сделать следующие выводы:

1. Действующие нормативные документы требуют корректировки в части предельных значений прогибов перекрытий, на которые установлены каменные стены и перегородки с проемами.

2. При установлении граничного прогиба перекрытия важную роль играет способ сопряжения перегородки или стены со смежными конструкциями.

3. При изгибе перекрытия нагрузка от веса перегородок с проемами, установленных вдоль плит пустотного настила, передавалась на плиты на участках небольшой длины у наружных краев простенков. Даже после образования трещин в кладке перегородки длина зон контакта простенков с перекрытием не превышала 100 мм. Данное обстоятельство следует учитывать при расчете опорных конструкций по предельным состояниям несущей способности и эксплуатационной пригодности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Drobiec L. Zapobieganie zarysowaniom scian murowych opartych na stropach zelbetowych [Text] / L. Drobiec, J. Kubica // Materiały budowlane. – 2006. – №404. – S. 21-23.
2. Göttlich P. Begrenzung der Biegeschlankheit nach Eurocode 2 [Text] // Beton und Stahlbetonbau. – 2012. – №107, Heft 1. – S. 38-45.
3. Деркач, В.Н. О морфологии трещин, возникающих во внутренних перегородках современных зданий [Текст] / В.Н. Деркач // Вестник Брестского государственного технического университета // Строительство и архитектура. – 2010. – №1. – С. 43-46.
4. Деркач, В.Н. Трещиностойкость каменных перегородок [Текст] / В.Н. Деркач, Р.Б. Орлович // Жилищное строительство. – 2012. – №8. – С. 34-37.
5. Деркач, В.Н. Методы повышения трещиностойкости каменных перегородок, возводимых на железобетонных перекрытиях [Текст] / В.Н. Деркач, Р.Б. Орлович // Строительство и реконструкция. – Орел: ГУ-УНПК. – 2012. – №4 (42). – С. 36-40.
6. Brameshuber W. Untersuchungen zur Vermeidung von Risschäden bei nicht tragenden Trennwänden [Text] / Brameshuber W., Beer I., Kang Bong-Gu // Mauerwerk. – №11. Heft 1. – 2007. – S. 54-62.
7. Пособие по проектированию жилых зданий/ ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. Вып. 3 Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85) [Текст]. – М.: Стройиздат, 1989. – 304 с.
8. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного натяжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84) [Текст]. – М.: ЦНИИпромзданий, НИИЖБ ГОССТРОЯ СССР, 1985. – 214 с.

В.Н. Деркач

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-derkatch@yandex.ru

V. DERKACH

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF MASONRY PARTITIONS WITH THE DOOR OPENING AT A DEFLECTION OF THE FLOOR

The results of full-scale experimental researches of a masonry partitions with the door opening at a deflection of the bearing floor have been presented. The character of deformation and cracking of ma-

sonry partitions, depending on connection with transverse walls, have been detected, the extreme values of deflection of the bearing floor have been determined. Shows the character of the load transfer of the weight of the partition with a doorway to the reference overlap. The need to adjust to the regulations of the limit values of the deflections of structures, which are mounted on the stone walls and partitions.

Keywords: masonry partitions; door opening; crack growth resistance; extreme value of deflection of the floor.

BIBLIOGRAPHY

1. Drobiec L. Zapobieganie zarysowaniom scian murowych opartych na stropach zelbetowych [Tekst] / L. Drobiec, J. Kubica // Materiały budowlane. – 2006. – №404. – S. 21-23.
2. Göttlich P. Begrenzung der Biegeschlankheit nach Eurocode 2 [Tekst] // Beton und Stahlbetonbau. – 2012. – № 107, Heft 1. – S. 38-45.
3. Derkach, V.N. O morfologii treshhin, voznikajushhih vo vnutrennih peregorodkah sovremennyh zdanij [Tekst] / V.N. Derkach // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta // Stroitel'stvo i arhitektura. – 2010. – №1. – S. 43-46.
4. Derkach, V.N. Treshhinostojkost' kamennyh peregorodok [Tekst] / V.N. Derkach, R.B. Orlovich // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2012. – №8. – S. 34-37.
5. Derkach, V.N. Metody povyshenija treshhinostojkosti kamennyh peregorodok, vozvodimyh na zhelezobetonnyh perekrytijah [Tekst] / V.N. Derkach, R.B. Orlovich // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: GU-UNPK. – 2012. – №4 (42). – S. 36-40.
6. Brameshuber W. Untersuchungen zur Vermeidung von Rißschäden bei nicht tragenden Trennwänden [Tekst] / Brameshuber W., Beer I., Kang Bong-Gu // Mauerwerk. – №11. Heft 1. – 2007. – S. 54-62.
7. Posobie po proektirovaniyu zhilyh zdanij/ CNIIJeP zhilishha Goskomarhitektury. Vyp. 3 Konstrukcii zhilyh zdanij (k SNiP 2.08.01-85) [Tekst]. – M.: Strojizdat, 1989. – 304 s.
8. Posobie po proektirovaniyu betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij iz tjazhelyh i legkih betonov bez predvaritel'nogo natjazhenija armatury (k SNiP 2.03.01-84) [Tekst]. – M.: CNIIpromzdanij, NIIZhB GOSSSTROJa SSSR, 1985. – 214 s.

V. Derkach

Branch of Republican unitary enterprise «Institute BelSRIБ»

«Scientific and technical center», Republic Belarus, Brest

Candidate of technical science

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

E-mail: v-derkatch@yandex.ru

КОЛПАКОВ А.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЙ КАМЕННОЙ КЛАДКИ

Высокое качество каменной кладки добивается повышением качества её технологии возведения: равномерное и тщательное уплотнение швов с помощью предварительного водонасыщения кирпича, применения раствора с повышенной прочностью и пластичностью, меньшей подвижностью раствора и армированием кладки. Исследования показали, что использование приёмов высококачественной кладки улучшают её прочностные характеристики. Прочность и модуль упругости увеличиваются в два раза по сравнению с традиционной кладкой. Армирование пространственным арматурным каркасом и стальной фиброй дают прирост прочности соответственно на 14% и 26%, модуля упругости – на 13% и 17% соответственно.

Ключевые слова: высококачественная кладка; прочность; модуль упругости; пластифицированный раствор; арматура.

В последние годы практически приостановилось развитие, исследование и совершенствование каменных конструкций; невелико предложение новых конструктивных решений. Тем не менее, каменную кладку из кирпича широко применяют в строительстве, однако, прочность возводимой традиционной кладки намного меньше прочности кирпича и раствора [1].

При возведении каменных конструкций в условиях строительной площадки могут иметь место отклонения в технологии и правилах производства каменных работ, например, превышение допустимой толщины швов в горизонтальных и вертикальных швах кладки; швы заполняются раствором не полностью, что приводит в дальнейшем к перенапряжениям в конструкции, образованию трещин и возможному разрушению [2]. Пористые основания – кирпич, лёгкие бетоны, некоторые природные камни, например туфы, обладают способностью сильно отсасывать воду из растворной смеси. Она становится при этом более жёсткой [3]. Иногда уложенный раствор может настолько обезводиться, что может не хватить воды для твердения находящегося в нём вяжущего вещества. При использовании растворных смесей, отличающихся слабой водоудерживающей способностью, прочность раствора может не достичь заданной проектом величины [3].

Высококачественность кладки добивается повышением качества технологии ее устройства. Совершенствование технологии и повышение прочности каменной кладки для изготовления эффективных несущих конструкций, таких как армокаменные арки, перемычки, колонны, столбы, можно осуществить путём:

- получения равномерно плотных швов с помощью виброуплотнения, использования пластифицированного высокопрочного раствора;
- повышения сцепления кирпича с растворным камнем и более плотного заполнения макродефектов кирпича с помощью водонасыщения его водой перед кладкой;
- уменьшения размера растворных швов до 3-5 мм;
- осуществления перевязки швов в половину кирпича по многорядной системе с допуском их совпадения в двух-трёх соседних рядах;
- усиления кладки пространственными арматурными каркасами, стержни которых размещаются в швах кладки, в специально прорезанных пазах постелей кирпичей и в их вертикальных отверстиях.

Как известно, при определении марки керамического кирпича пластического прессования кирпич насыщают водой перед изготовлением образцов из половинок с разравнивающим раствором толщиной 5 мм. При этом увеличивается адгезия и создаётся прочная монолитная структура «раствор-кирпич», которая способствует равномерному распределению разрушающих усилий по всей структуре, и как следствие, прочность кладки приближается к прочности кирпича. При плохой адгезии разрушающие усилия будут сосредотачиваться в основном в растворе, и прочность образца снизится. Поэтому прочность кладки можно увеличить, используя данный приём. Тем не менее, даже будучи в водонасыщенном состоянии, кирпич всё равно будет постепенно отсасывать из раствора излишнюю воду, и раствор будет становиться плотнее и прочнее [3].

Обеспечение плотности тонких швов осуществляется пластифицированным раствором, который кроме склеивания камней в монолит ещё и «заличивает» дефекты кирпича, проникая в его трещины. Для приготовления раствора используется ВНВ (вяжущее низкой водопотребности) или совместный домол портландцемента с добавками в шаровой мельнице для большей пластификации, повышения прочности, водоредуцирования и уменьшения усадки [4].

Для испытания на прочность было изготовлено пять серий образцов кладки из трёх половинок керамического кирпича пластического прессования марки 200 Чапаевского силикатного завода (рис. 1). Размеры образцов 12×12×21 см приближены к стандартным бетонным кубам. Перед кладкой половинки кирпича погружались в воду на 5 минут (за исключением первой серии), верхние и нижние грани образцов перед испытанием разравнивались гипсовым раствором. Марка цементно-известкового раствора взята по максимальной марке, приведённой в СНиП II-22-81*. Для высококачественной кладки взята максимально возможная марка пластифицированного раствора (M500), а небольшая толщина шва взята по аналогии с ГОСТ 8462-85, что привело к сравнимости расхода цемента в традиционной и высококачественной кладке.



Рисунок 1 – Образцы кладки после испытания:
а – традиционной; б – высококачественной

Наименование серий:

- 1 – традиционная кладка на цементно-известковом растворе марки 200 (толщина шва 10 мм);
- 2 – высококачественная кладка на цементно-известковом растворе марки 200 (толщина шва 3-5 мм);
- 3 – высококачественная кладка на растворе M500 (толщина шва 3-5 мм);
- 4 – высококачественная кладка на растворе M500 с металлической сеткой толщиной 2 мм шагом 10 мм (толщина шва 3-5 мм);
- 5 – высококачественная кладка на растворе M500 с металлической фиброй толщиной 0,5 мм, длиной 12 мм (толщина шва 3-5 мм).

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1 – результаты испытаний образцов кладки 12×12×21 на прочность

№ серии	№ образца в серии	Размеры образца, см	Разрушающее усилие N_u , кН	Прочность образцов R , МПа	Средняя прочность \bar{R} , МПа
1	1.1	12×12,1×22,3	370	25,5	26,67
	1.2	11,8×12×22,4	385	27,2	
	1.3	11,9×12×22,4	390	27,3	
2	2.1	12,3×11,9×20,9	745	50,9	51,16
	2.2	12,1×11,9×20,7	702,5	50,49	
	2.3	11,8×12,2×20,8	750	52,1	
3	3.1	11,7×12,3×21,1	800	55,59	56,87
	3.2	11,7×12,1×20,3	825	58,28	
	3.3	12,1×11,8×20,8	810	56,73	
4	4.1	12×12,1×21,4	982,5	67,6	69,27
	4.2	11,9×12,1×21,1	930	64,5	
	4.3	11,5×12×21,5	1045	75,7	
5	5.1	12,3×11,9×20,8	782,5	53,46	57,86
	5.2	11,8×12,4×20,8	907,5	62,02	
	5.3	12×12,3×20,7	857,5	58,1	

Из таблицы 1 видно, что использование технологии высококачественной кладки (серия 2) увеличивает её прочность в сравнении с традиционной кладкой (серия 1) почти в два раза. Применение в высококачественной кладке раствора М500 (серия 3) даёт прирост прочности ещё на 11%. Армирование швов высококачественной кладки металлической сеткой (серия 4) повышает её прочность на 22%. Использование фибры почти не увеличило прочность.

Для определения призменной прочности и модуля упругости было изготовлено четыре серии образцов кладки из шести (для первой серии) и семи половинок керамического кирпича пластического прессования марки 200 (рис. 2). Размеры образцов $12 \times 12 \times 48$ см приближены к стандартным бетонным призмам по ГОСТ 24452-80.

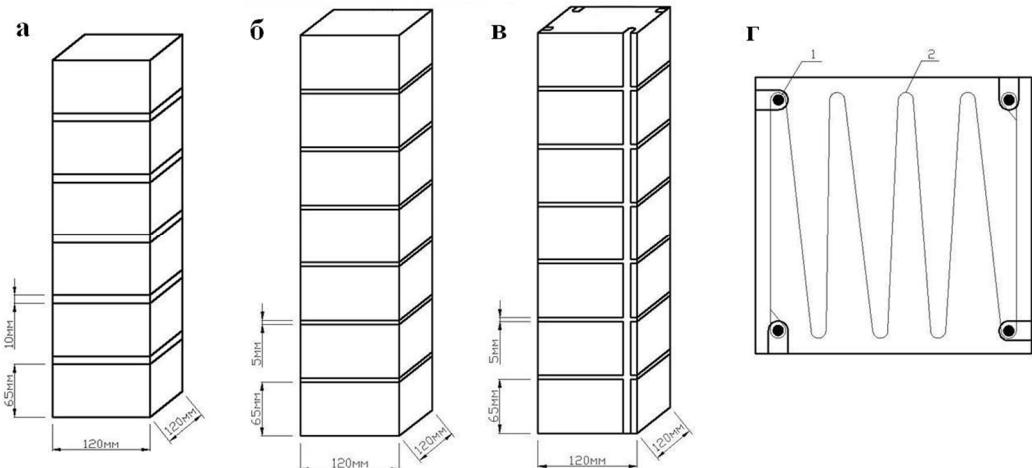


Рисунок 2 – Образцы кладки: а – традиционной; б – высококачественной; в – высококачественной, армированной пространственным каркасом; г – схема армирования: 1 – продольные стержни стали В_р-I диаметром 5 мм; 2 – поперечные хомуты стали В-I диаметром 2,5 мм

На рисунке 3 показана схема установки индикаторов для определения приращения относительных продольных деформаций.



Рисунок 3 – Образцы кладки перед испытанием: а – традиционной; б – высококачественной

Наименование серий:

1 – традиционная кладка на цементно-известковом растворе марки 200 (толщина шва 10-12 мм);

2 – высококачественная кладка на растворе М500 (толщина шва 3-5 мм);

3 – высококачественная кладка на растворе М500 с металлической фиброй (толщина шва 3-5 мм);

4 – высококачественная кладка на растворе М500, армированная металлическим каркасом в специально прорезанных пазах кирпича и швах кладки (толщина шва 4-7 мм).

Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний образцов-призм

№ серии	№ образца в серии	Размеры образца, см	Модуль упругости $E, 10^3$ МПа	Средний модуль упругости $\bar{E}, 10^3$ МПа	Разрушающее усилие $N_u, \text{кН}$	Приизменная прочность образцов $R_{\text{пр}}, \text{МПа}$	Средняя прочность $\bar{R}_{\text{пр}}, \text{МПа}$
1	1.1	12×11,8×46,5	9,4	9,3	310	21,8	21,66
	1.2	12, ×11,8×46,4	9,3		332,5	23,2	
	1.3	12, ×11,9×46,5	9,2		287,5	19,97	
2	1.1	12×12×48,4	18,8	17,2	612,5	42,5	43,63
	1.2	12×12×48,3	16,5		600	41,6	
	1.3	12×12×48	16,3		675	46,8	
3	2.1	12×12×47,8	20	20,13	787,5	54,5	55,19
	2.2	12×11,2×48	20,1		730	54,3	
	2.3	12×12×47,9	20,3		817,5	56,77	
4	3.1	12×12×49,7	20,3	19,4	725	50,35	49,65
	3.2	12×12×48,6	20		715	49,65	
	3.3	12×12×48,8	17,8		705	48,96	

Из таблицы 2 видно, что использование технологии высококачественной кладки с пластифицированным высокопрочным раствором (серия 2) увеличивает её приизменную прочность и модуль упругости в сравнении с традиционной кладкой (серия 1) почти в два раза. С применением армирования высококачественной кладки значения прочностных показателей увеличиваются.

Исследование влияния масштабного фактора и вертикальных швов на работу кладки проводилось на двух сериях образцов размером 25×25×56 см (рис. 4).



Рисунок 4 – Образцы кладки после испытания: а – традиционной; б – высококачественной

Испытания образцов показали среднюю прочность при сжатии образцов высококачественной кладки 33,5 МПа, что также превышает прочность образцов из традиционной кладки примерно в 2 раза (16,32 МПа).

Выводы

1. Проведено исследование зависимости прочности каменной кладки от её технологии. Выявлено, что технология высококачественной кладки с применением высокопрочного пластифицированного раствора увеличивает прочность и модуль упругости кладки в 2 раза.

2. Проведено исследование зависимости приизменной прочности и модуля упругости высококачественной кладки от армирования её стальной фиброй и пространственным каркасом. Значение модуля упругости увеличилось соответственно на 17% и 13%. Приизменная прочность увеличилась соответственно на 26% и 14%.

3. Значение модуля упругости высококачественной кладки в 2 раза выше, чем у традиционной кладки, но на 25% ниже, чем модуль упругости бетона аналогичной марки. Это говорит о том, что при производстве изгибаемых армокаменных конструкций по технологии высококачественной кладки следует увеличивать высоту поперечного сечения.

4. Технологию высококачественной кладки рекомендуется применять при производстве эффективных несущих каркасных каменных и армокаменных конструкций [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уренёв, П.Ф. Результаты экспериментальных исследований высококачественной кладки [Текст] / П.Ф. Уренёв, А.В. Колпаков // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 68-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР 2010 г. СГАСУ. – Самара: СГАСУ. – 2011. – С. 471.
2. Бедов, А.И. Проектирование, восстановление и усиление каменных и армокаменных конструкций [Текст] / А.И. Бедов, А.И. Габитов. – М.: АСВ, 2006. – 568 с.
3. Хигерович, М.И. Строительные материалы [Текст] / М.И. Хигерович, Г.И. Горчаков, И.А. Рыбьев. – М.: Вышш. школа, 1982. – 352 с.
4. Колпаков, А.В. Раствор для высококачественной кладки [Текст] / А.В. Колпаков // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 68-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР 2010 г. СГАСУ. – Самара: СГАСУ. – 2011. – С. 478-479.
5. Пат. 105643 Российская Федерация, МПК Е04В 2/00. Армокаменный цоколь небольшого лёгкого здания с подвалом / П.Ф. Уренёв, А.В. Колпаков, Е.П. Уренёва; заявитель и патентообладатель СГАСУ; заявл. 20.01.2011; опубл. 20.06.2011, Бюл. – 2011. – №17.

A.В. Колпаков

АМОУ ВПО «Самарская академия государственного и муниципального управления», г. Самара
Аспирант кафедры «Кадастр и геоинформационные технологии»
E-mail: roland.alex@mail.ru

A. KOLPAKOV

STUDY OF STRENGTH FEATURES FOR BRICKWORK OF HIGH QUALITY

Top quality of masonry obtains by increase of quality its technology: evenly and intensive joints sealing by first water saturation of brick, by use of mortar with higher durability and plasticity, by lower flow of mortar and by masonry reinforcing. Researches have shown that the use of techniques of the high-quality masonry is improved its strength properties. Durability and elastic modulus is increased in two times as compared to the traditional masonry. Reinforcing spatial armature framework and steel fibre is given increase of durability accordingly on 14% and 26%, elastic modulus accordingly on 13% and 17%.

Keywords: high-quality masonry; durability; elastic modulus; plasticized mortar; steel reinforcing.

BIBLIOGRAPHY

1. Urenjov, P.F. Rezul'taty eksperimental'nyh issledovanij vysokokachestvennoj kladki [Tekst] / P.F. Urenjov, A.V. Kolpakov // Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture: materialy 68-joj Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii po itogam NIR 2010 g. SGASU. – Samara: SGASU. – 2011. – S. 471.
2. Bedov, A.I. Proektirovaniye, vosstanovlenie i usilenie kamennyh i armokamennyh konstrukcij [Tekst] / A.I. Bedov, A.I. Gabitov. – M.: ASV, 2006. – 568 s.
3. Higerovich, M.I. Stroitel'nye materialy [Tekst] / M.I. Higerovich, G.I. Gorchakov, I.A. Ryb'ev. – M.: Vyssh. shkola, 1982. – 352 s.
4. Kolpakov, A.V. Rastvor dlja vysokokachestvennoj kladki [Tekst] / A.V. Kolpakov // Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture: materialy 68-joj Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii po itogam NIR 2010 g. SGASU. – Samara: SGASU. – 2011. – S. 478-479.
5. Pat. 105643 Rossiskaja Federacija, MPK E04V 2/00. Armokamennyj cokol' nebol'shogo l'jogkogo zdaniya s podvalom / P.F. Urenjov, A.V. Kolpakov, E.P. Urenjova; zayavitel' i patentoobladatel' SGASU; zayavl. 20.01.2011; opubl. 20.06.2011, Bjul. – 2011. – №17.

A. Kolpakov

Samara academy of state and municipal management, Samara
Master of engineering and technology, post-graduate student
E-mail: roland.alex@mail.ru

ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ ПЛОСКОЙ ЗАМКНУТОЙ ОБЛАСТИ, ОГРАНИЧЕННОЙ ВЫПУКЛЫМ КОНТУРОМ РАЗЛИЧНОГО ОЧЕРТАНИЯ

В статье представлена методика определения значений коэффициента формы – интегральной геометрической характеристики плоской односвязной выпуклой области, ограниченной замкнутым контуром произвольного очертания. Разработаны общие алгоритмы определения коэффициента формы для областей произвольного вида, имеющих несколько осей симметрии, одну ось симметрии и не имеющих осей симметрии. Рассмотрены тестовые примеры программной реализации предложенной методики.

Ключевые слова: односвязная область с выпуклым контуром; коэффициент формы области; алгоритм; программа.

Коэффициентом формы плоской замкнутой области является безразмерная геометрическая характеристика, в общем виде представляющая собой интеграл:

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

где ds – линейный элемент контура L ; h – перпендикуляр, опущенный на него из некоторой точки, расположенной внутри рассматриваемой области (рис. 1).

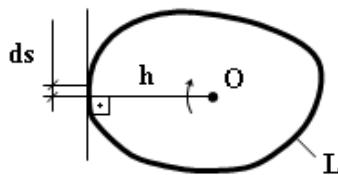


Рисунок 1 – Параметры области для определения K_f

Выражение (1) может быть вычислено для любой внутренней точки замкнутого выпуклого контура, однако доказано, что в любой указанной области существует единственная точка, для которой оно принимает минимальное значение [1]. Далее будем рассматривать только такие значения коэффициента формы, а указанную точку определять как центр этой области.

Впервые к расчёту упругих пластиночек и пластиночек, находящихся в предельном состоянии, коэффициент формы был применён профессором В.И. Коробко.

В работе [2] теоретически доказано, что коэффициент формы является геометрическим аналогом физических характеристик в задачах теории упругости: максимального прогиба в задачах поперечного изгиба пластиночек и мембран, основной частоты их свободных колебаний, критической силы в задачах устойчивости пластиночек и мембран, разрушающей нагрузки в предельном состоянии пластиночек, приведенной геометрической жёсткости в задачах упругого кручения призматических стержней. Перечисленные задачи описываются дифференциальными уравнениями эллиптического типа второго и четвёртого порядков, что находит геометрическую аналогию с указанной интегральной геометрической характеристикой [3]. На основе её использования предложен метод интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ), теоретические основы которого разработаны одним из авторов этой статьи.

Учитывая необходимость проведения численных исследований задач теории упругости с аргументом в виде коэффициента формы и создания специализированных программных комплексов, была разработана самостоятельная программа *KfGeometry*^{*}, реализующая алго-

* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610432 от 10.01.2012 г.

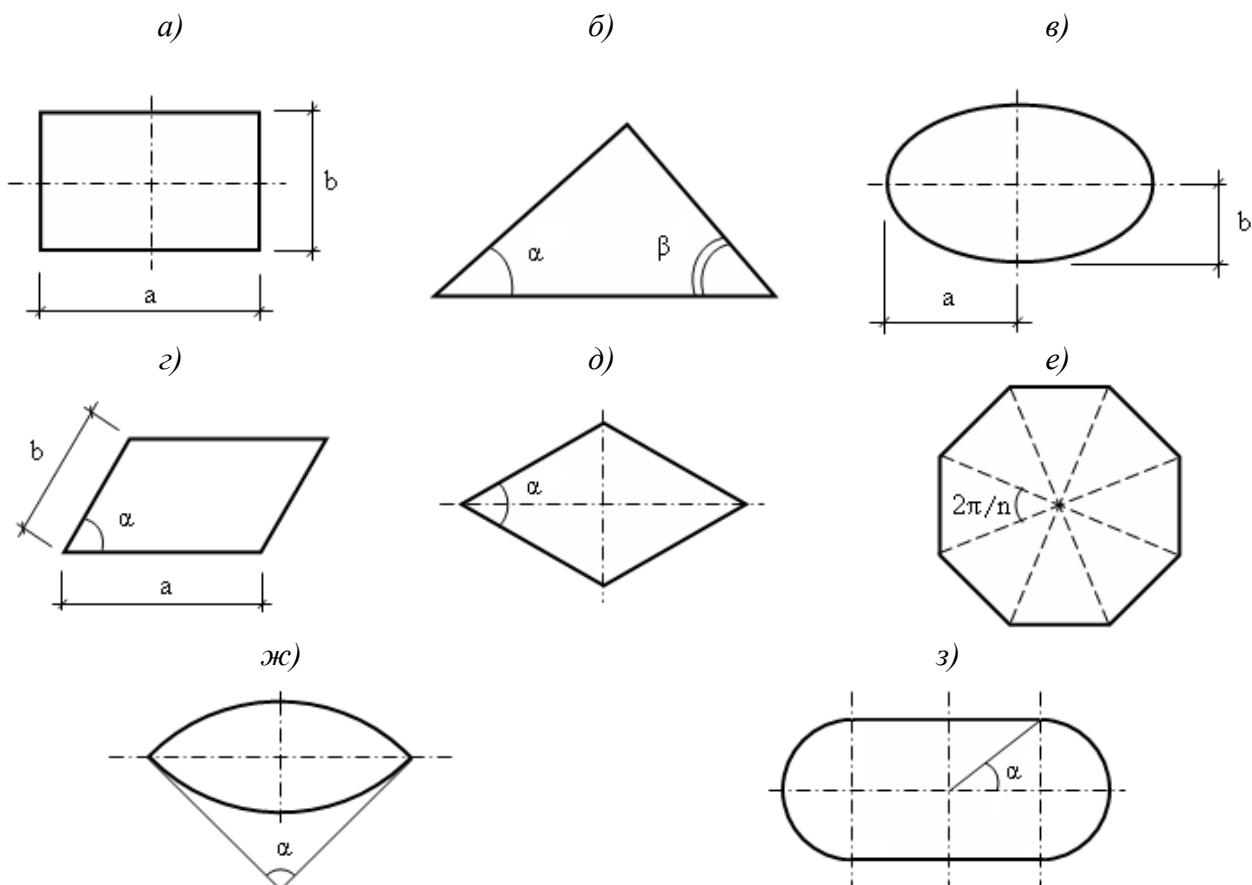
ритмы вычисления данной геометрической характеристики для отдельных классов замкнутых односвязных выпуклых областей, являющихся широко распространенными формообразующими элементами строительных и машиностроительных конструкций.

Результаты работы программы представляются выводом численного значения коэффициента формы рассматриваемой области и её масштабного отображения. В отдельных случаях для уточнения положения центра рассматриваемой области указываются численные значения его координат.

Несмотря на определённость и краткость выходной информации, её достижение для разных классов плоских областей является неравнозначным в плане математических затрат. Реализация выражения (1) сводится к использованию его частных случаев и алгоритмов для фигур характерных очертаний.

1. Формы односвязных областей, для которых возможно непосредственное вычисление значений коэффициентов формы

Для достаточно распространённых классов плоских областей в виде геометрических фигур, изображённых на рисунке 2, вычисление значений коэффициента формы проводится по конечным формулам. При этом положение центров этих областей известно.



a – прямоугольник; б – треугольник; в – эллипс; г – произвольный параллелограмм; д – ромб; е – правильный n-угольник; ж – симметричная круговая луночка; з – овалоид

Рисунок 2 – Формы односвязных областей, для которых возможно непосредственное вычисление значений коэффициентов формы

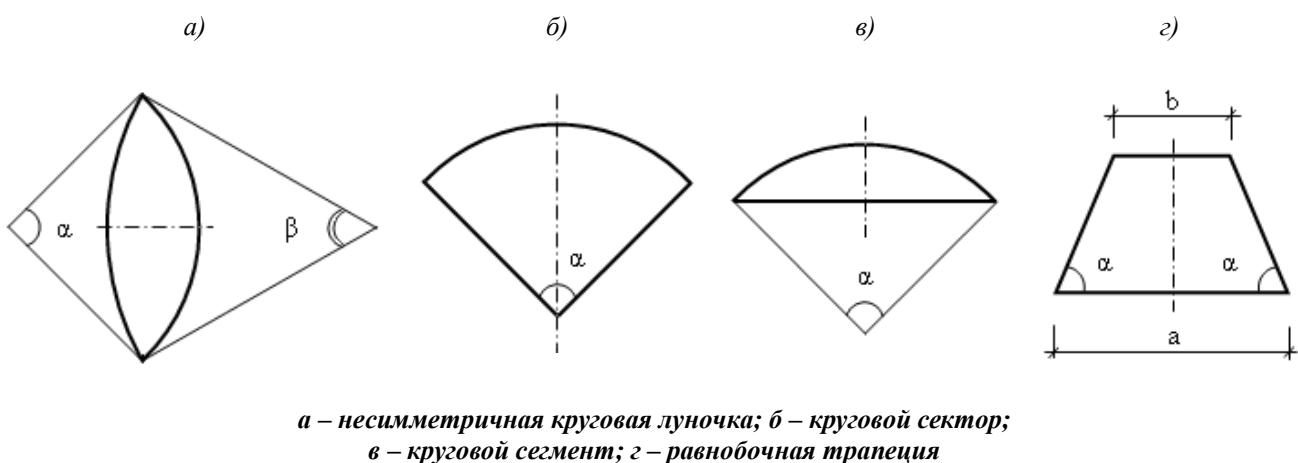
Поскольку коэффициент формы не зависит от масштаба фигуры, здесь и далее линейные размеры принимаются в единицах длины, меры углов для удобства пользователя вводятся в градусах.

Приведём используемые выражения для определения коэффициентов формы:

- прямоугольники: $K_f = 4(a/b + b/a)$, где a, b – длины сторон;
- треугольники: $K_f = 2\operatorname{ctg}(\alpha/2)\operatorname{ctg}(\beta/2)\operatorname{ctg}[(\pi - \alpha - \beta)/2]$, где углы $(\alpha + \beta) \in (0; \pi)$;
- эллипсы: $K_f = \pi(a/b + b/a)$, где a, b – длины полуосей;
- параллелограммы: $K_f = 4(a/b + b/a)/\sin \alpha$, где a, b – длины сторон, $\alpha \in (0; \pi)$ – угол между ними;
- ромбы: $K_f = 8/\sin \alpha$, где $\alpha \in (0; \pi)$ – один из углов фигуры;
- правильные многоугольники: $K_f = 2n \operatorname{tg}(\pi/n)$, где n – число углов (сторон);
- симметричные круговые луночки: $K_f = 2\pi/\sin \alpha$, где $\alpha \in (0; \pi]$ – угол дуги;
- овалоид, представляющий собой комбинацию двух частей круга и прямоугольника, имеет несколько выражений для вычисления коэффициента формы в зависимости от значений угла $\alpha \in (0; \pi/2]$.

2. Типичные формы областей, для которых вычисление значений коэффициентов формы требует проведения итерационного поиска минимального значения

Принятые к рассмотрению формы областей показаны на рисунке 3.



а – несимметричная круговая луночка; б – круговой сектор;
в – круговой сегмент; г – равнобочная трапеция

Рисунок 3 – Типичные формы областей, для которых вычисление значений коэффициентов формы требует проведения итерационного процесса

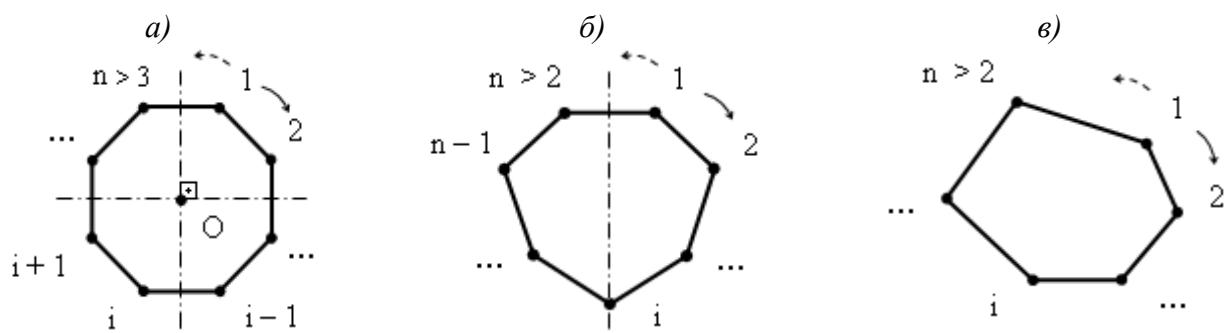
Исходными данными к расчёту служат следующие геометрические параметры:

- несимметричные круговые луночки: α, β – углы дуг, где $\alpha \wedge \beta \in (0; \pi]$;
- круговые сектора: α – угол сектора, где $\alpha \in (0; \pi]$;
- круговые сегменты: α – угол сегмента, где $\alpha \in (0; 2\pi]$;
- равнобочные трапеции: a, b – основания, α – острый угол при большем из них.

Решения в данном случае получаются с помощью минимизации значений коэффициента формы путём последовательного перебора точек, лежащих на оси симметрии фигуры. Расчётные формулы, используемые при проведении итераций, приведены в [3].

3. Очертания контура в виде полигона в декартовой системе координат

В данном случае отдельно рассматриваются многоугольники, имеющие оси ортогональной симметрии, одну ось симметрии или произвольный контур (рис. 4). Такой подход позволяет оптимизировать процесс поиска минимального значения искомой величины и достижение приемлемой точности решений для фигур характерных очертаний.



а – область с центром ортогональной симметрии;
б – область с одной осью симметрии; в – область без осей симметрии

Рисунок 4 – Формы контура в виде многоугольника

Первоначально в качестве исходных данных к расчёту принимается число вершин многоугольника n . Для фигуры с ортогональными осями симметрии необходимо $n > 3$, для других вариантов $n > 2$. Далее для каждой вершины многоугольника в табличной форме задаются соответствующие координаты x, y . Обход контура области при вводе координат осуществляется последовательно в любом направлении, начиная с любой вершины. Центр области или положение оси симметрии, если таковые имеются, программа определяет автоматически по заданным координатам. Программой предусмотрены проверки корректности ввода исходных данных для рассматриваемых вариантов очертаний.

При вычислении коэффициента формы фигур, имеющих замкнутый полигональный контур, выражение (1) может быть представлено в следующем виде:

$$K_f = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{h_i}, \quad (2)$$

где l_i – длина i -ой стороны; h_i – опущенный на неё перпендикуляр из центра фигуры; n – число сторон многоугольника.

Методика вычисления значений коэффициентов формы в данном случае построена на использовании координатного метода в декартовой системе, сводящегося к определению длин отрезков и длин перпендикуляров к ним, проведенным из некоторой точки, взятой внутри контура фигуры. Данная расчёчная процедура выделена в качестве отдельной подпрограммы *Kfcalculation*.

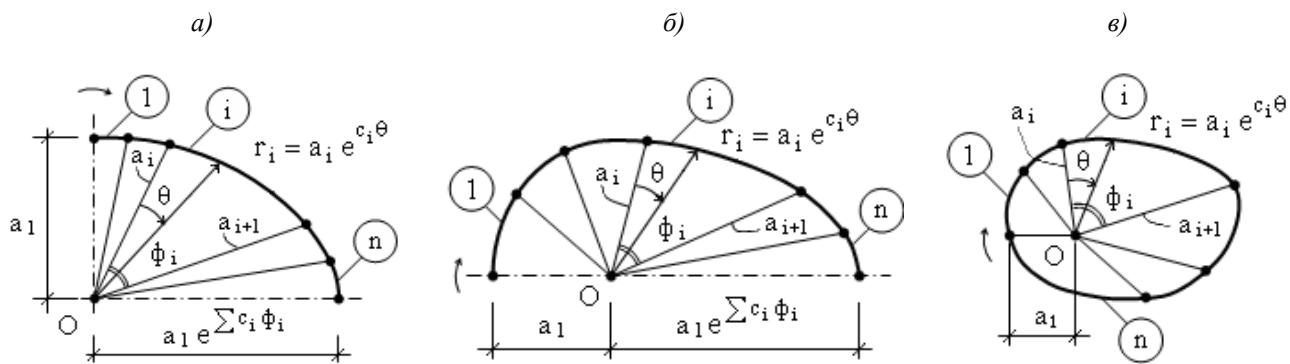
Поскольку для фигур с осями ортогональной симметрии положение центров известно – точка пересечения осей симметрии, выражение (2) реализуется однократным обращением к указанной подпрограмме.

Для других вариантов проводится итерационный процесс вычислений с минимизацией значения искомой величины. Для фигур с одной осью симметрии, на которой лежит их центр, на очередной итерации варьируются значения координат y . Для произвольно заданных фигур поиск минимального значения осуществляется варьированием значений обоих координат x, y . При этом обращение к подпрограмме *Kfcalculation* осуществляется на каждой текущей итерации.

4. Области, ограниченные криволинейными элементами (дугами)

Программой отдельно рассматриваются области с криволинейными элементами (дугами) контура, имеющие оси ортогональной симметрии, одну ось симметрии или произвольный контур (рис. 5).

В качестве первичных исходных данных для всех характерных вариантов очертаний принимается число участков криволинейного контура n , определяемое пользователем самостоятельно на предварительной стадии аппроксимации. На рисунке 5 выделяемые участки отделены друг от друга узловыми точками.



*a – области с центром ортогональной симметрии (показана одна четверть);
 б – области с одной осью симметрии (показана одна половина);
 в – области без осей симметрии*

Рисунок 5 – Области, ограниченные криволинейными элементами (дугами)

Контур рассматриваемой области необходимо представить в виде участков логарифмических спиралей, описывающихся уравнением следующего вида:

$$r = a e^{c \theta},$$

где θ – текущее значение угловой координаты; c – коэффициент роста логарифмической спирали; a – некоторая константа.

Центр полярной системы координат принимается соответственно в точке пересечения осей симметрии, в некоторой точке, принадлежащей оси симметрии, или произвольно внутри рассматриваемой области.

Для каждого выделенного участка в табличной форме задаётся свой коэффициент роста логарифмической спирали c и соответствующий полярный угол дуги ϕ . При этом для фигур, изображённых на рисунке 5, необходимо, чтобы суммы полярных углов дуг были соответственно равны: 90° , 180° и 360° .

Для криволинейных областей произвольного очертания дополнительно вводится условие, определяющее замкнутость контура: $\sum_{i=1}^n c_i \phi_i = 0$.

Корректность ввода исходных данных контролируется программой.

При вычислении значений коэффициентов формы областей с криволинейным контуром выражение (1) может быть представлено в виде:

$$K_f = \sum_{i=1}^n \int_0^{\phi_i} \left(1 + \frac{r_i^2}{r_i^2} \right) d\theta, \quad (3)$$

где $r = r_i(\theta)$ – функция, аппроксимирующая i -ый участок контура рассматриваемой области. Положение центров для областей, изображённых на рисунке 5, будет соответственно на пересечении осей симметрии, на единственной оси симметрии или произвольным.

Подставляя уравнение логарифмической спирали в выражение (3), получим выражение коэффициента формы, непосредственно реализуемое для областей с центром ортогональной симметрии:

$$K_f = \sum_{i=1}^n (1 + c_i^2) \phi_i,$$

где n – принятое число элементов дуг, аппроксимирующих контур; ϕ_i – полярный угол, соответствующий i -ой дуге.

Для областей имеющих одну ось симметрии или не имеющих таковой по заданным параметрам осуществляется переход к декартовой системе координат с представлением контура в виде аппроксимирующего полигона. При этом на каждый заданный участок контура помещается 100 равноудалённых узлов. Далее рассматривается соответствующая полигональная фигура с использованием положений, описанных в пункте 3.

Выбранное количество узлов представляется достаточным, так как аппроксимирующий полигон будет иметь минимум 100 вершин. Например, при аппроксимации окружности, заданной как произвольная криволинейная фигура с одним участком, программой рассматривается стоугольник, для которого $K_f = 6,285253$, что отличается от точного решения $K_f = 2\pi$ на 0,03%.

5. Области, ограниченные по контуру прямолинейными и криволинейными элементами

Области со смешанными элементами контура представляются как наиболее сложные, состоящие из произвольно следующих прямолинейных и криволинейных участков. В данном случае также выделяются характерные виды областей, показанные на рисунке 6, где хорды криволинейных участков показаны пунктирными линиями.

Рассматриваемая область привязывается к полярной системе координат, центр которой размещается соответственно на пересечении осей симметрии, в некоторой точке, принадлежащей оси симметрии, или произвольно внутри области.

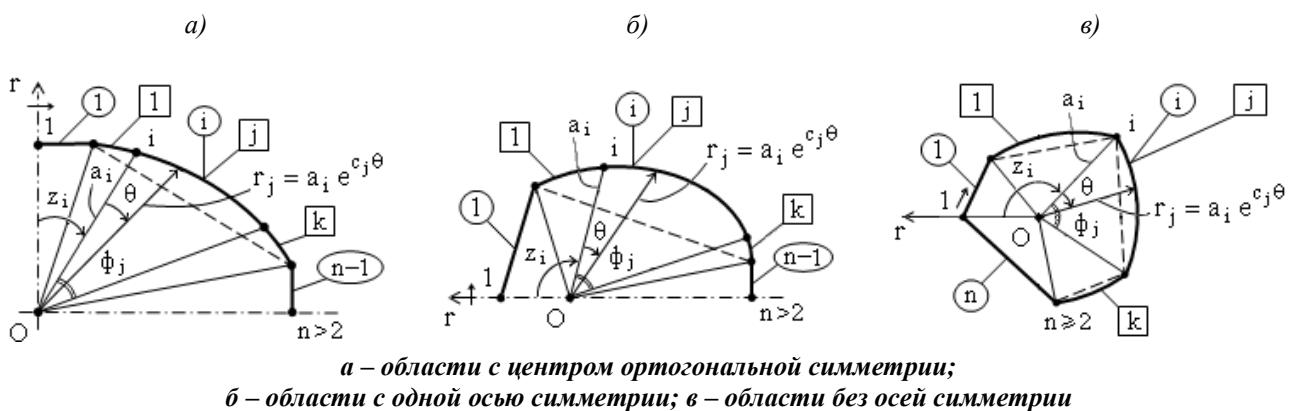


Рисунок 6 – Области со смешанными элементами контура

В качестве первичных исходных данных служат параметры: n – число контурных узлов и k – число криволинейных участков. Оба параметра предварительно определяются пользователем на стадии аппроксимации рассматриваемой области, путём представления криволинейных участков в виде частей логарифмических спиралей, как это описано в пункте 4.

Указанные параметры имеют соответствующие ограничения: для областей, имеющих оси симметрии $n > 2$ и $k < n - 1$, где $(n - 1)$ – общее число участков контура; для произвольных областей $n \geq 2$ и $k < n$, где n – определяет общее число участков контура.

Далее в табличной форме осуществляется ввод полярных координат узловых точек a и z , причём для угловой координаты z имеются очевидные ограничения, учитывающие характер очертания областей со смешанными элементами контура.

Следующим видом исходных данных используется топология прямолинейных и криволинейных участков контура. Каждый участок контура имеет порядковый номер следования $i = \overrightarrow{1, n-1}$ или $i = \overrightarrow{1, n}$. Криволинейные участки имеют дополнительно свои порядковые номера $j = \overrightarrow{1, k}$. Для описания топологии контура в табличной форме каждому номеру криволинейного участка j ставится в соответствие его общий порядковый номер i .

Для областей с центром ортогональной симметрии значения коэффициентов формы определяется выражением, параметры которого программа определяет автоматически по исходным данным расчёта:

$$K_f = \sum_{j=1}^k (1 + c_j^2) \phi_j + \sum_{i=1}^{n-k-1} \frac{l_i}{h_i}.$$

Для областей, имеющих одну ось симметрии или не имеющих таковой, по заданным параметрам осуществляется переход к декартовой системе координат, как описано в пункте 4, с представлением контура в виде аппроксимирующего полигона. При этом на каждый криволинейный участок контура дополнительно помещается 100 равноудалённых узлов. Дальнейший расчёт ведётся для соответствующей полигональной фигуры с использованием положений, описанных в пункте 3.



Рисунок 7 – Общий алгоритм расчёта коэффициента формы для областей, заданных прототипами

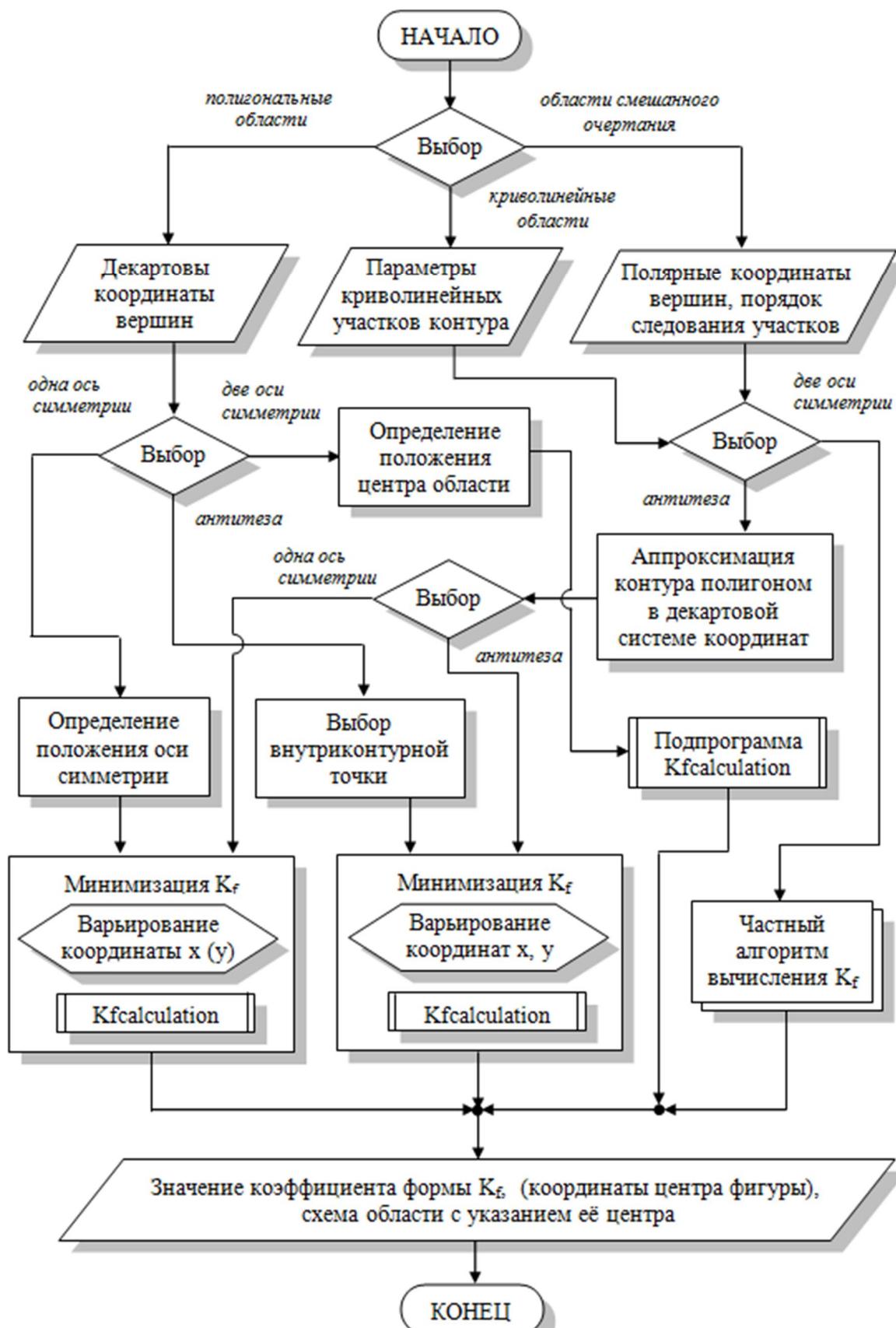


Рисунок 8 – Общий алгоритм расчёта коэффициента формы для областей, заданных произвольно

Общие алгоритмы расчёта коэффициентов формы для областей, заданных с помощью прототипов (пункты 1, 2) и заданных произвольно (пункты 3...5), показаны соответственно на рисунках 7 и 8.

Примеры использования программы показаны на рисунках 9 и 10, где приведен расчёт значения коэффициента формы для кругового сегмента. В первом случае рассматриваемый сегмент задан с помощью расчётного прототипа по значениюю угла дуги $\alpha = 270^\circ$. Во втором случае данная область рассматривается как произвольная фигура со смешанным контуром, для расчёта которой задано: число вершин $n = 2$, число криволинейных участков контура $k = 1$, полярные координаты вершин (a, z) , порядковый номер криволинейного участка в составе контура $i = 1$.

В результате работы программы *KfGeometry* получены искомые значения: $K_{f1} = 6,619885$, принимаемое как точное, и $K_{f2} = 6,622869$, найденное по предложенному алгоритму. Эти значения отличаются друг от друга на 0,05%.

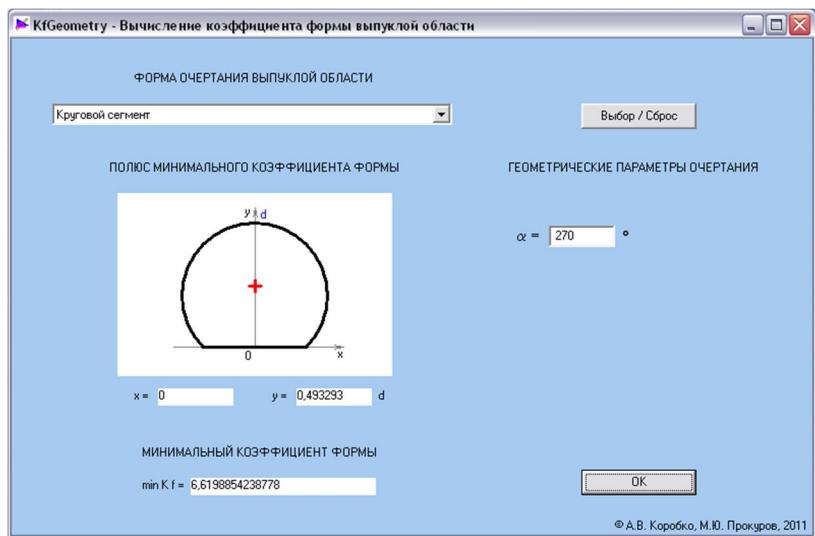


Рисунок 9 – Определение значения коэффициента формы области в виде кругового сегмента с использованием программного прототипа

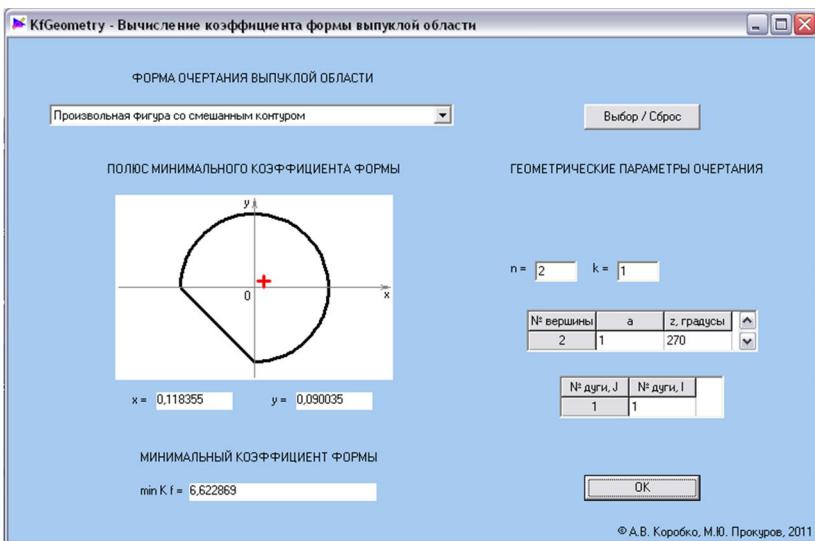


Рисунок 10 – Определение значения коэффициента формы области в виде кругового сегмента, заданного как произвольная область со смешанным контуром

Выводы

1. Разработаны алгоритмы расчёта значений коэффициента формы для областей типовых очертаний.
2. Разработаны алгоритмы расчёта значений коэффициента формы для областей, заданных в виде произвольных полигонов, криволинейных фигур и фигур со смешанными элементами контура, имеющих ортогональную симметрию, симметрию относительно оси или не имеющих осей симметрии.

3. Разработано и зарегистрировано специализированное программное обеспечение по определению значений коэффициентов формы плоских выпуклых односвязных областей произвольного замкнутого очертания. Отдельные части программы использованы в самостоятельных разработках, принимающих значение коэффициента формы в качестве главного аргумента в задачах технической теории расчёта пластиинок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полиа, Г. Изопериметрические неравенства в математической физике [Текст] / Г. Полиа, Г. Сёге. – Госматиздат, 1962. – 334 с.
2. Коробко, В.И. Изопериметрический метод в строительной механике: Теоретические основы изопериметрического метода [Текст] / В.И. Коробко. – М.: АСВ. – 1997. – Т. 1. – 390 с.
3. Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости [Текст] / А.В. Коробко. – М.: АСВ, 1999. – 320 с.

А.В. Коробко

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орёл
Доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая и прикладная механика»

М.Ю. Прокуров

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции»
Тел.: +7 (4832) 64-59-15
E-mail: m.prokuroff@mail.ru

A. KOROBKO, M. PROKUROV

PROGRAM OF DEFINITION OF FORM RATIO VALUE OF PLAIN ENCLOSED AREA LIMITED BY CONVEX CONTOUR OF DIFFERENT CONFIGURATION

The article presents the method of definition of form ratio values – integral geometric characteristic of plain simple connected convex area limited by closed contour of random configuration. Generalized algorithms to define form ratio for random form areas that have several symmetry axes, one symmetry axis and have no symmetry axes are developed. Test cases of program realization of the suggested method are examined.

Keywords: simple connected area with convex contour; area form ratio; algorithm; program.

BIBLIOGRAPHY

1. Polia, G. Izoperimetricheskie neravenstva v matematicheskoy fizike [Tekst] / G. Polia, G. Sjoge. – Gosmatizdat, 1962. – 334 s.
2. Korobko, V.I. Izoperimetricheskij metod v stroitel'noj mehanike: Teoreticheskie osnovy izoperimetricheskogo metoda. [Tekst] / V.I. Korobko. – M.: ASV. – 1997. – T. 1. – 390 s.
3. Korobko, A.V. Geometricheskoe modelirovanie formy oblasti v dvumernyh zadachah teorii uprugosti [Tekst] / A.V. Korobko. – M.: ASV, 1999. – 320 s.

A. Korobko

State university – educational-science-production complex, Orel
Doctor of technical science, professor of department «Theoretical and applied mechanics»

M. Prokurov

Bryansk state engineering and technological academy, Bryansk
Candidate of technical sciences, associate professor «Building designs»
Ph.: +7 (4832) 64-59-15
E-mail: m.prokuroff@mail.ru

ЛЕЙЗЕРОВИЧ Г.С., ПРИХОДЬКО Н.Б., СЕРЁГИН С.В.

О ВЛИЯНИИ МАЛОЙ ПРИСОЕДИНЕННОЙ МАССЫ НА КОЛЕБАНИЯ РАЗНОТОЛЩИННОГО КРУГОВОГО КОЛЬЦА

В программном комплексе ANSYS изучается влияние присоединенной массы на частоты собственных изгибных колебаний тонкого кругового кольца переменной жесткости. Установлено, что разнотолщинность кольца может привести к расщеплению частотного спектра, нежелательному с точки зрения динамической прочности. Показано, что ни подбором места крепления массы к кольцу, ни изменением ее величины устранить этот эффект не удается. При необходимости крепления массы ее лучше всего располагать в тех местах, где толщина кольца наибольшая, так как в этом случае расстройка спектра оказывается наименьшей.

Ключевые слова: круговое кольцо; разнотолщинность; присоединенная масса; расщепление частотного спектра.

Введение

Реальные тонкостенные круговые цилиндрические оболочки, применяемые в строительстве и других отраслях техники, имеют неизбежные геометрические начальные неправильности, приводящие к расщеплению изгибного частотного спектра [1...5]. В [1] показано, что этот эффект, нежелательный с точки зрения динамической прочности, может быть полностью устранен за счет присоединения к оболочке малой массы. При этом существенное значение имеет как место крепления массы, так и ее величина. Удвоение частотного спектра наблюдается и в том случае, когда оболочка имеет переменную толщину стенки [2].

В настоящей работе на примере бесконечно длинной разнотолщинной оболочки (кольца, находящегося в условиях плоской деформации) изучается возможность устранения упомянутого выше эффекта за счет присоединения к ней малой массы.

Численное моделирование в программном комплексе ANSYS

Рассматривается кольцо радиусом $R = 1$ м и шириной $b = 0,005$ м (рис. 1).

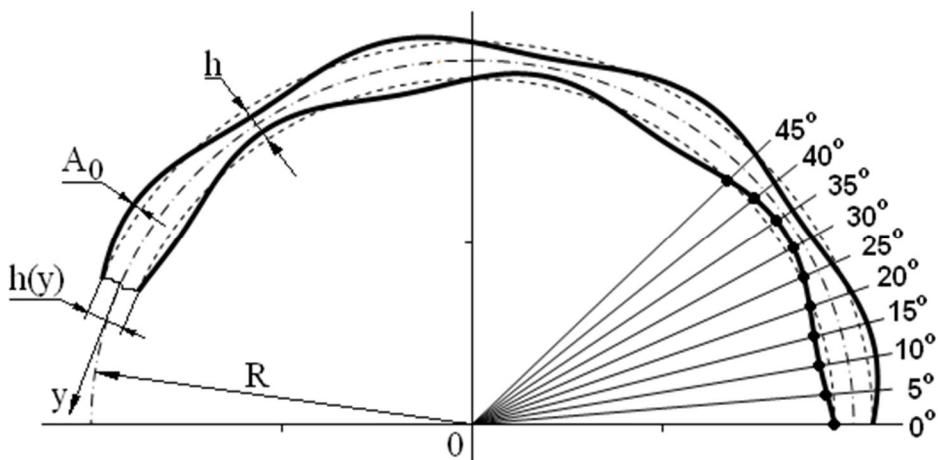


Рисунок 1 – Схема возможного крепления массы к разнотолщинному кольцу

Пусть толщина кольца изменяется по закону $h(y) = h + 2A_0 \sin(n_0 y / R)$, где h – толщина идеального кольца; $2A_0$ – наибольшее отклонение толщины от ее номинального значения h ; n_0 – число «усилений» / «ослаблений»; y – окружная координата. Масса кольца равна массе

идеального кольца. К кольцу поочередно в каждой из точек, указанных на рисунке 1, прикрепляется масса M_0 , составляющая 5, 10 и 20% от массы кольца M .

Основные результаты численного анализа при $h = 0,005$ м; $n_0 = 8$ и $A_0 = 0,0005$ м представлены на рисунках 2-6.

Рисунки 2, 3 иллюстрируют расщепление изгибного частотного спектра и формы колебаний при числе окружных волн $n = 4$ и $n = 8$ (для случая $M_0 = 0,2M$). Квадратик на этих рисунках показывает место крепления массы.

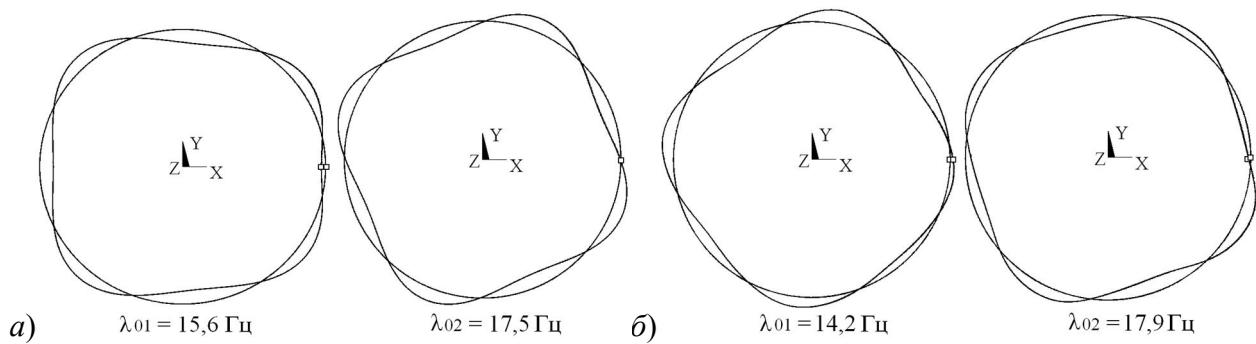


Рисунок 2 – Формы и частоты собственных колебаний идеального кольца (а) и несовершенного кольца (б) с присоединенной массой равной $M_0=0,2M$ (угол крепления массы 0°) ($n = 4$)

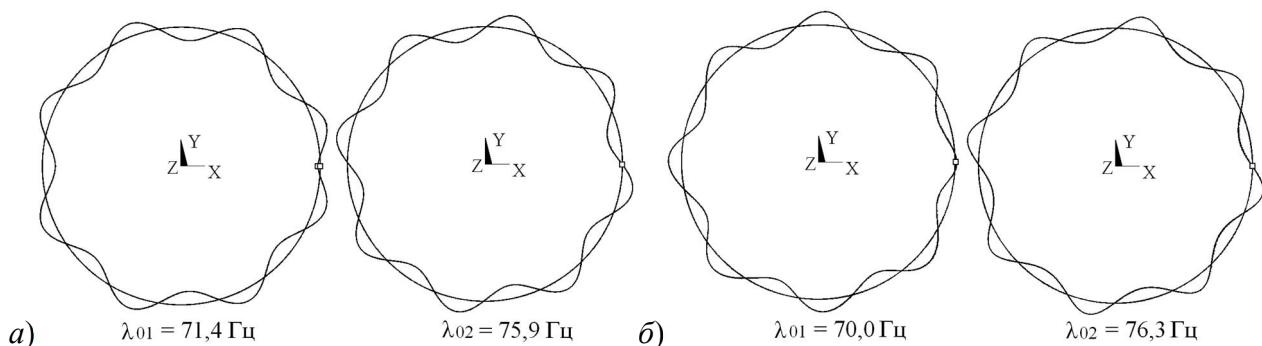


Рисунок 3 – Формы и частоты собственных колебаний идеального кольца (а) и несовершенного кольца (б) с присоединенной массой равной $M_0=0,2M$ (угол крепления массы 0°) ($n = 8$)

Рисунки 2, а и 3, а соответствуют идеальному кольцу, а рисунки 2, б и 3, б – разнотолщинному. Видно, что каждой из расщепленных собственных частот отвечает своя изгибная форма колебаний. При этом обе формы имеют одно и то же число волн, но повернуты одна относительно другой на угол $\pi/2$.

На рисунках 4, 5 показано расщепление частотного спектра идеального и разнотолщинного колец с присоединенной массой M_0 и без нее в зависимости от волнообразования. Линии на графике иллюстрируют значения безразмерных собственных частот $\Omega_{n0i} = \lambda_{n0i} / \lambda_n$, где λ_{n0i} – n -ая собственная изгибная частота несовершенного кольца; λ_n – частота идеального кольца ($i = 1, 2$). При этом линии без маркера показывают значения частот несовершенного кольца без массы, а линии с маркерами – значения частот несовершенного кольца с массой.

Рисунок 6 демонстрирует зависимость расстройки частотного спектра от угла крепления массы и ее величины.

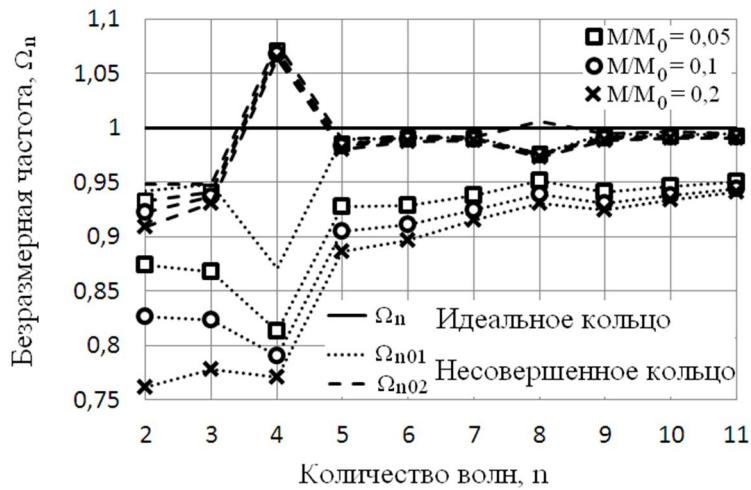


Рисунок 4 – Максимальное расщепление частотного спектра (угол крепления массы 35°)

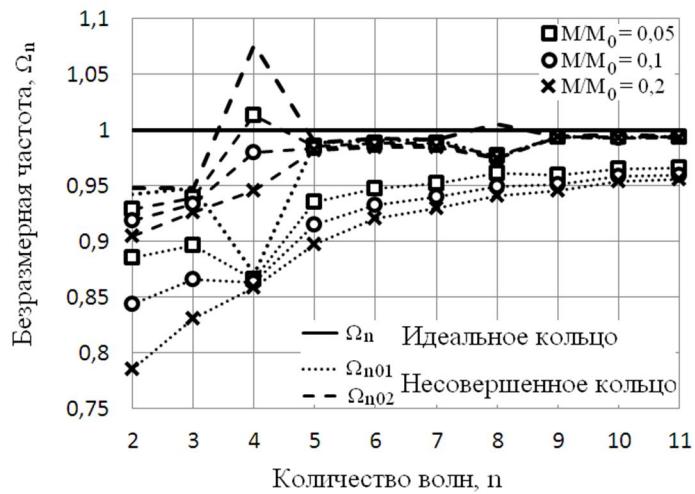


Рисунок 5 – Минимальное расщепление частотного спектра (угол крепления массы 10°)

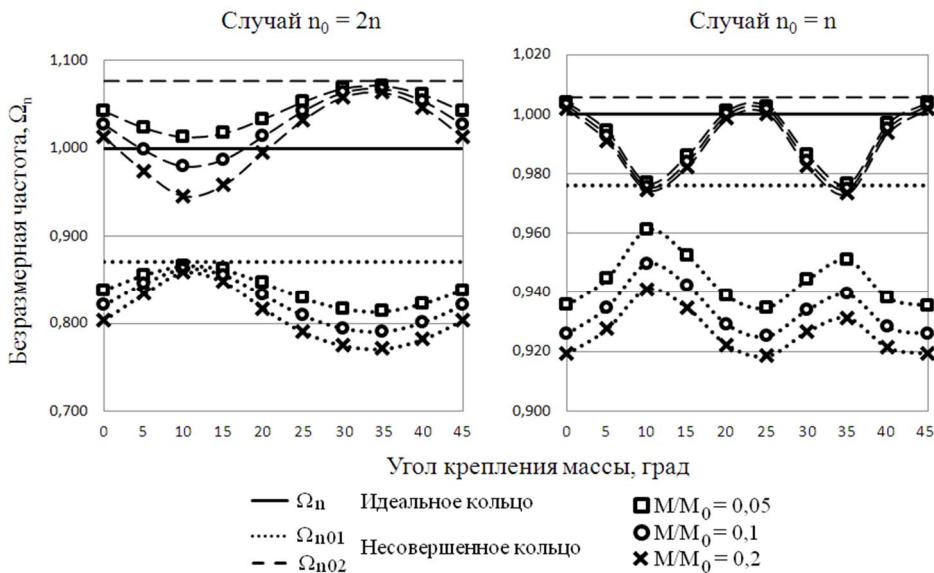


Рисунок 6 – Рассстройка изгибного частотного спектра

Выводы

Результаты выполненного исследования свидетельствуют о том, что устранить нежела-

тельный эффект расщепления изгибного частотного спектра за счет присоединения к разнотолщинному кольцу малой массы не удается, как и в случае кольца с начальными неправильностями [3]. Более того, как видно из рисунков 2...6, с ростом массы этот эффект только усиливается, при этом значения обеих расщепленных собственных частот Ω_{n01} и Ω_{n02} уменьшаются по сравнению с частотами несовершенного кольца без массы.

Численный анализ также показывает, что при конструктивной необходимости прикрепления малой массы к круговому кольцу переменной жесткости для получения наименьшей расстройки частотного спектра ее следует размещать в местах наибольшего отклонения толщины кольца от номинального значения. Нежелательными являются места, где толщина кольца наименьшая.

Необходимо также отметить, что при четном числе «усилений» / «ослаблений» кольца с массой или без массы частотный спектр удваивается как при $n_0 = 2n$, так и при $n_0 = n$ (см. рис. 4...6). Если же число «усилений» / «ослаблений» нечетное, то расщепление спектра имеет место только в том случае, когда $n_0 = n$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кубенко, В.Д. Нелинейное взаимодействие форм изгибных колебаний цилиндрических оболочек / В.Д. Кубенко, П.С. Ковальчук, Т.С. Краснопольская. – Киев: Наукова думка, 1984. – 220 с.
2. Лейзерович, Г.С. О собственных изгибных колебаниях тонкого кругового кольца переменной толщины / Г.С. Лейзерович, Н.А. Тарануха, Н.Б. Приходько // Морские интеллектуальные технологии. – 2013. – №1(19). – С. 35-38.
3. Тарануха, Н.А. О влиянии начальных неправильностей и малой присоединенной массы на расщепление изгибного частотного спектра тонких круговых цилиндрических оболочек / Н.А. Тарануха, Г.С. Лейзерович // Вестник СГТУ. – 2010. – №1 (44). – С. 18-23.
4. M. Amabili. Nonlinear Vibrations and Stability of Shells and Plates. – Cambridge University Press, New York, USA, 2008.
5. V.D. Kubenko and P.S. Koval'chuk. Problems of nonlinear multiple-mode vibrations of thin elastic shells of revolution // In Nonlinear Dynamics of Shells and Plates (eds. M.P. Païdoussis, M. Amabili and P.B. Gonçalves). ASME, New York. 2000. – Vol. 238. – pp. 147-153.

Г.С. Лейзерович

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, г. Комсомольск-на-Амуре
Доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Механика и анализ конструкций и процессов»
E-mail: ktpm@knastu.ru

Н.Б. Приходько

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, г. Комсомольск-на-Амуре
Магистр техники и технологии, программист кафедры «Технология самолетостроения»
E-mail: prikhodykonina@mail.ru

С.В. Серёгин

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, г. Комсомольск-на-Амуре
Аспирант кафедры «Строительство и архитектура»
E-mail: Seregin-komsHome@yandex.ru

G. LEJZEROVICH, N. PRIHOD'KO, S. SERJOGIN

ON THE INFLUENCE OF SMALL ADDITIONAL MASS ON VIBRATION OF A RING WITH DIFFERENT THICKNESSES

In ANSYS software package the effect of the added mass on the natural frequencies of flexural vibrations of a thin circular ring of variable thickness is studied. It is detected that variable thickness of

ring can lead to splitting the frequency spectrum, undesirable from the point of view of dynamic strength. It is shown, that neither the selection of the place of attachment of mass to ring nor its value, the effect of splitting the frequency spectrum can be eliminated. If necessary fastening mass, it is best placed, where the greatest thickness of the ring because in this case of splitting the frequency spectrum is minimal.

Keywords: circular ring; variable thickness; added mass; splitting of the frequency spectrum.

BIBLIOGRAPHY

1. Kubenko, V.D. Nelinejnoe vzaimodejstvie form izgibnyh kolebanij cilindricheskikh obolochek / V.D. Kubenko, P.S. Koval'chuk, T.S. Krasnopol'skaja. – Kiev: Naukova dumka, 1984. – 220 s.
2. Lejzerovich, G.S. O sobstvennyh izgibnyh kolebanijah tonkogo krugovogo kol'ca peremennoj tolshhiny / G.S. Lejzerovich, N.A. Taranuha, N.B. Prihod'ko // Morskie intellektual'nye tehnologii. – 2013. – №1(19). – S. 35-38.
3. Taranuha, N.A. O vlijanii nachal'nyh nepravil'nostej i maloj prisoedinennoj massy na rassheplenie izgibnogo chastotnogo spektra tonkih krugovyh cilindricheskikh obolochek / N.A. Taranuha, G.S. Lejzerovich // Vestnik SGTU. – 2010. – №1 (44). – S. 18-23.
4. M. Amabili. Nonlinear Vibrations and Stability of Shells and Plates. – Cambridge University Press, New York, USA, 2008.
5. V.D. Kubenko and P.S. Koval'chuk. Problems of nonlinear multiple-mode vibrations of thin elastic shells of revolution // In Nonlinear Dynamics of Shells and Plates (eds. M.P. Païdoussis, M. Amabili and P.B. Gonçalves). ASME, New York. 2000. – Vol. 238. – pp. 147-153.

G. Lejzerovich

Komsomolsk-on-Amur state technical university, Komsomolsk-on-Amur

Doctor of physical and mathematical sciences, associate professor of department «Mechanics and analysis of structures and processes»

E-mail: ktpm@knastu.ru

N. Prihod'ko

Komsomolsk-on-Amur state technical university, Komsomolsk-on-Amur

Master of technics and technology, programmer of the department «Technology of aircraft construction»

E-mail: prikhodykonina@mail.ru

S. Serjogin

Komsomolsk-on-Amur state technical university, Komsomolsk-on-Amur

Postgraduate student of department «Construction and architecture»

E-mail: Seregin-komsHome@yandex.ru

СЕРПИК И.Н., АЛЕКСЕЙЦЕВ А.В., ШВЫРЯЕВ М.В.

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СТАЛЬНЫХ БАЛОЧНЫХ КЛЕТОК*

Разрабатывается эволюционный алгоритм оптимизации параметров пластинчато-стержневых несущих систем стальных балочных клеток. Ставится задача минимизации массы металлоконструкции на дискретных множествах параметров. Предусматривается возможность варьирования профилей стержней и толщин пластин. Приводится пример оптимального синтеза балочной клетки здания производственного назначения.

Ключевые слова: балочные клетки; оптимизация; эволюционное моделирование; параметрический синтез; конечно-элементная модель.

Оптимальное проектирование несущих элементов стальных балочных клеток связано с поиском решений на дискретных множествах стандартизованных типоразмеров профилей стержней и толщин листов. При этом в процессе вариации значений параметров необходимо принимать во внимание перераспределение усилий между составляющими конструкции с учетом статической неопределенности деформируемой системы. Следует отметить, что существующие разработки в этой области, изложенные, в частности, в работах [1-3], главным образом ограничивались изучением алгоритмов независимого определения параметров отдельных частей конструкции.

В настоящей работе решается задача параметрической оптимизации стальных балочных клеток в виде промышленных этажерок со сварным настилом, в котором листы подкреплены ребрами жесткости. Вычислительная схема предусматривает непосредственный учет изготавливаемых по сортаментам профилей металлопроката при анализе деформаций конструкции как единого пространственного объекта.

Рассматривается пластинчато-стержневая система этажерки с представлением колонн, главных балок, второстепенных балок и ребер настила в виде стержней, листов настила – тонких пластин. Полагается, что стержни в общем случае могут испытывать деформации растяжения-сжатия, изгиба в двух главных плоскостях и чистого кручения, а листы настила – мембранные и изгибные деформации. Считается, что стержни имеют постоянные по длине сечения, а каждая из пластин – постоянную по площади плана толщину. Принимается во внимание k_o вариантов нагружения.

Расчет настила балочных клеток, выполненного из гладких стальных листов, обычно осуществляется в геометрически нелинейной постановке. Подкрепление листов системой ребер значительно повышает изгибную жесткость настила. Как показывают расчеты, для рассматриваемых здесь балочных клеток можно в целом пренебречь влиянием перемещений на геометрию модели конструкции. Поэтому анализ напряженно-деформированного состояния объектов нами выполняется в линейной постановке.

Используется конечно-элементная дискретизация балочной клетки на основе метода перемещений [4]. Ставится задача минимизации массы M несущей системы:

$$M = \sum_{j=1}^{j_s} \rho_j L_j A_{sj} + \sum_{j=j_s+1}^{j_s+j_p} \rho_j t_j A_{pj} \Rightarrow \min, \quad (1)$$

где j_s , j_p – числа стержней и пластин; ρ_j – плотность материала j -го элемента конструкции; L_j , A_{sj} – длина и площадь поперечного сечения для j -го стержня; t_j , A_{pj} – толщина и площадь в плане j -ой пластины.

Предусматривается возможность варьирования типоразмерами профилей стержней и толщин листов на дискретных множествах допустимых значений [5]. Разделим нормативные [6] ограничения задачи на активные, принимаемые во внимание в процессе оптимизации, и

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №13-08-00457.

пассивные, по которым проверяются варианты несущей системы, полученные в результате оптимального синтеза. Будем учитывать следующие активные ограничения.

1) *Условие прочности для стержней и пластин.* Считается, что балочная клетка изгото-
влена из конструкций первого класса, в которых напряжения не должны превышать расчет-
ного сопротивления:

$$\sigma_3 \leq \gamma_c R_y, \quad (2)$$

где σ_3 – эквивалентное по энергетической теории прочности напряжение; γ_c – коэффициент условий работы; R_y – расчетное сопротивление стали.

2) *Ограничения по жесткости балок.* Для каждого из узлов i системы конечных эле-
ментов, описывающих деформации балок, при любом нагружении ставится требование вы-
полнения неравенства:

$$f_i \leq [f_i], \quad (3)$$

где f_i – вертикальное перемещение узла i относительно опор балки; $[f_i]$ – допустимое значение данного перемещения с учетом пролета балки.

3) *Обеспечение устойчивости колонн.* По изгибу в каждой из главных плоскостей ста-
вится условие:

$$|N| \leq [N], \quad (4)$$

где N – продольная сила сжатия; $[N]$ – допустимое значение продольной сжимающей силы, определяемое с учетом величины R_y , коэффициента γ_c , наличия изгибающих моментов, формы поперечного сечения.

Рассматриваем такие пассивные ограничения:

- условие местной прочности стенок балок;
- условие местной прочности и устойчивости стенок и поясов балок;
- условие местной прочности, жесткости и устойчивости участков листов настила меж-
ду ребрами;
- ограничения по горизонтальному перемещению, которое не должно превышать вели-
чины $h / 500$, где h – высота конструкции;
- общая устойчивость несущей системы.

За основу процедуры оптимального синтеза балочных клеток принята комбинирован-
ная эволюционная стратегия, предложенная в работе [7] применительно к параметрической оптимизации стержневых систем. Этот подход предусматривает сочетание схем учета ограничений путем жесткого отсеивания неработоспособных вариантов несущих систем для части популяции и использования штрафов для другой части, а также реализацию смешанной про-
цедуры мутации, включающей изменение параметров для одних особей с учетом всех допу-
стимых значений и выбор для других особей только соседних позиций в этих множествах. Информация о наиболее рациональных вариантах конструкции помещается в базу данных элитных особей. В результате удается обеспечить и достаточно высокую стабильность полу-
чаемых решений и устранить проблему искажения условий задачи, связанную с использова-
нием штрафных функций.

В процессе перехода к параметрической оптимизации пластинчато-стержневых систем типа балочных клеток, прежде всего, потребовалось подобрать схему задания штрафов и вы-
явить рациональные значения управляющих параметров. Как показали численные экспери-
менты, при учете ограничений без непосредственного отсеивания особей значение целевой функции целесообразно умножать на коэффициент:

$$\alpha = \prod_{k=1}^{k_o} \prod_{j=1}^4 \left(1 + \beta_j \left(\max_i \left(\frac{|T_{ijk}|}{[T]_{ijk}} - 1 \right) \chi \left(\max_i \left(\frac{|T_{ijk}|}{[T]_{ijk}} - 1 \right) \right) \right) \right), \quad (5)$$

где k – номер нагружения; j – номер типа проверки (1 – по напряжениям в стержнях; 2 – по напряжениям в пластинах; 3 – по вертикальным перемещениям в балках; 4 – по устойчивости колонн); $\beta_j (j=1, \dots, 4)$ – задаваемые коэффициенты; i – номер конечного элемента или узла; T_{ijk} , $[T]_{ijk}$ – значение параметра, по которому осуществляется заданный тип проверки в k -м

нагружении, и максимально допустимое значение этого параметра; $\chi(\eta)$ – функция Хэвисайда от некоторого аргумента η : $\chi(\eta)=0$, если $\eta < 0$; $\chi(\eta)=1$, если $\eta \geq 0$.

Расчеты показали, что в данном случае при удержании в основной популяции 20-ти особей целесообразно использовать штрафы для группы в 12-14 особей. При этом целесообразно принимать $\beta_1 = \beta_2 = 10$; $\beta_3 = \beta_4 = 100$.

Пример решения задачи

Осуществлялся параметрический синтез металлоконструкции этажерки здания производственного назначения. Несущая система этажерки выполнена в виде стальной балочной клетки простого типа. Конструкция состоит из 18 ячеек размером 6×6 м (рис. 1).

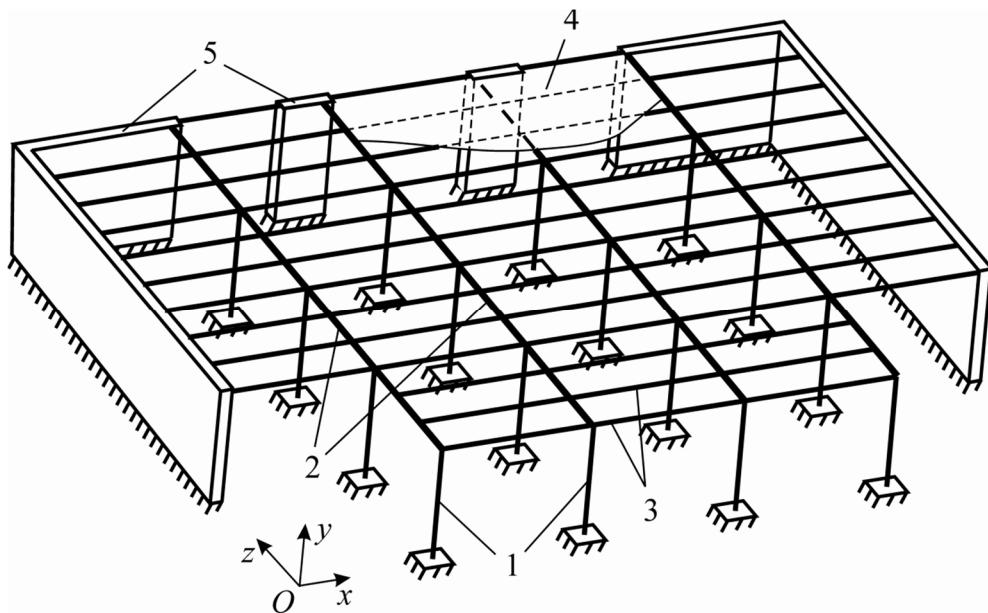


Рисунок 1 – Схема этажерки: 1 – колонны; 2 – главные балки; 3 – второстепенные балки; 4 – настил; 5 – железобетонные стены

Опорный узел второстепенных балок на главные принял по типу «сбоку». Сварной настил представляет собой пластинчато-стержневую конструкцию, изготавливаемую методом кузнечно-прессовой сварки по стандартам DIN 24537 (ячеистые решетки) из малоуглеродистой стали S235JO (рис. 2). К стальному рифленому листу Λ , оцинкованному по нормам DIN 50976, привариваются ребра R прямоугольного поперечного сечения, соединяемые с помощью запрессовки скрученными четырехгранными прутками Π . Материал колонн и балок – сталь С255 (ВСт3сп5) по ГОСТ 380-81. Расчетное сопротивление для всех стальных элементов несущей системы $R_y = 245$ МПа.

В расчетной схеме колонны, основные и второстепенные балки представлялись стержнями. Ребра настила также учитывались дискретно, для чего на участках расположения второстепенных балок упрощенно вводилась система стержней с приведенными геометрическими характеристиками. Принималась во внимание эксцентричность присоединения стержней к листу. Прутки настила не включались в расчетную схему, поскольку они не оказывают существенного влияния на общие деформации конструкции.

Все узлы соединения балок со стойками, листов с балками, а также стоек с фундаментом рассматривались как жесткие. Принималось свободное опирание балок на стены как на абсолютно жесткое основание.

Задавалось нагружение объекта от сил тяжести с учетом рекомендаций норм [8]. Наряду с постоянной нагрузкой, учитывающей вес конструкции, вводились комбинации распределенных длительных временных нагрузок с равномерной интенсивностью 20 кН/м², каждая из которых действует по площади одной из ячеек балочной клетки (рис. 3). Расчет проводился на

9 вариантов совместного приложения постоянной и временных нагрузок. Комбинации временных нагрузок описывались матрицей:

$$S_{ep} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

где номер строки матрицы соответствует номеру комбинации нагрузок, номер столбца – номеру ячейки настила; единица в матрице указывает, что временная нагрузка действует, ноль – отсутствует.

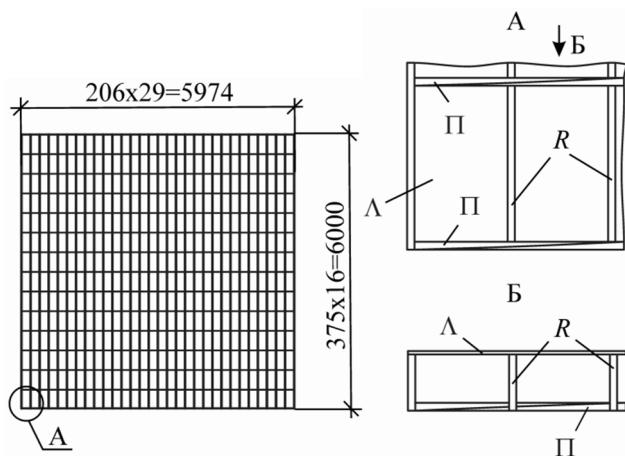


Рисунок 2 – Ячейка настила

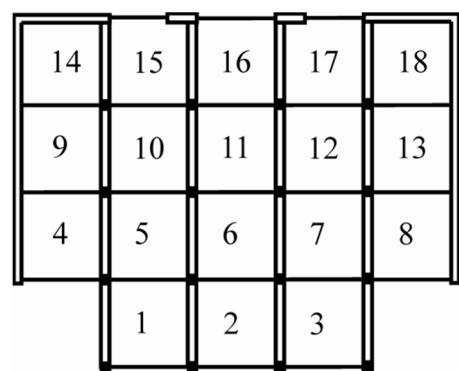


Рисунок 3 – Номера ячеек конструкции

Дискретизация деформируемого объекта выполнялась с использованием стержневых и треугольных пластинчатых конечных элементов. Для описания работы обшивки настила использовалась предельная схема конечно-элементного анализа [9].

В процессе оптимизации изменению подвергалась толщина листов настила, профили главных и второстепенных балок, колонн и ребер настила. Конструктивные элементы несущей системы объединялись в группы, каждая из которых связывалась с каким-либо варьируемым параметром. В пределах группы, которая могла включать один или несколько конструктивных элементов, значение этого параметра считалось одинаковым.

Реализация итерационного процесса выполнялась многократно. В каждом таком расчете, как правило, получалось несколько близких по массе рациональных вариантов несущей системы. Численные эксперименты показали, что при оптимальном синтезе объектов такого типа отсутствие изменений во множестве элитных особей, включающем 20 вариантов конструкции, в течение 300 поколений говорит о целесообразности остановки оптимизации. Дальнейшее продолжение итерационного процесса обычно не приводит к сколько-нибудь значимому улучшению рациональных проектов. Данный критерий использовался нами в расчетах.

В таблице отражена рассматриваемая группировка конструктивных элементов в соответствии с обозначениями рисунка 4 и приведен результат поиска, полученный в 10-ти запусках процесса оптимизации, для объекта с наименьшей массой M , которая составила 47462 кг. Кроме того, найдено 6 вариантов несущей системы, отличающихся по значению целевой

функции от наиболее рационального варианта менее чем на 3%. Проверка показала, что пассивные ограничения для решения с наименьшей величиной M выполняются. Одна реализация итерационного алгоритма требовала проведения менее 35000 расчетов напряженно-деформированного состояния конструкции. На персональном компьютере с процессором Core Quad 9550 эта процедура занимала до 36 часов машинного времени. Полный перебор вариантов несущей системы балочной клетки здесь связан с выполнением $7,16 \cdot 10^{63}$ расчетов.

Таблица – Варьируемые параметры и результаты оптимизации конструкции

Наименование конструктивных элементов	Параметры	Допустимые значения параметров	Группа конструктивных элементов	Номер полученного значения параметра для группы
Листы настила	Толщины листов, мм	1) 3; 2) 4; 3) 5; 4) 6; 5) 7; 6) 8; 7) 9; 8) 10; 9) 11; 10) 12	П1 П18	1 то же 1
Ребра настила	Профили проката широкополосного по ГОСТ 11269-76*, мм × мм	1) 0,8 × 8; 2) 0,9 × 10; 3) 1,0 × 12; 4) 1,1 × 14; 5) 1,2 × 16	Все ребра	2
Колонны	Профили колонных двутавров по ГОСТ 26020-83	1) 20К1; 2) 20К2; 3) 23К1; 4) 23К2; 5) 26К1; 6) 26К2; 7) 30К1; 8) 30К2; 9) 35К1; 10) 40К1; 11) 40К2	K1 K4 K5 K9 K10 K11 K12 K16	1 то же 1 2 то же 2 1 1 2 то же 2
Главные балки	Профили широкополочных двутавров по ГОСТ 26020-83	1) 20Ш1; 2) 23Ш1; 3) 26Ш1; 4) 26Ш2; 5) 30Ш1; 6) 30Ш2; 7) 35Ш1; 8) 35Ш2; 9) 35Ш3; 10) 40Ш1; 11) 40Ш2	Г1 Г2 Г3 Г4 Г5 Г6 Г7 Г8 Г9 Г10 Г11 Г12 Г13 Г14 Г15 Г16	5 7 7 5 7 6 6 7 7 6 6 7 8 7 7 8
Второстепенные балки	Профили балочных двутавров по ГОСТ 26020-83	1) 20Б1; 2) 23Б1; 3) 26Б1; 4) 26Б2; 5) 30Б1; 6) 35Б1; 7) 40Б1	B1-B3 B4-B6 B7-B9 B10-B14 B15-B19 B20-B24 B25-B29 B30-B34 B35-B39 B40-B44 B45-B49 B50-B54 B55, B57 B56	4 6 5 6 6 5 6 6 5 6 6 5 1 2

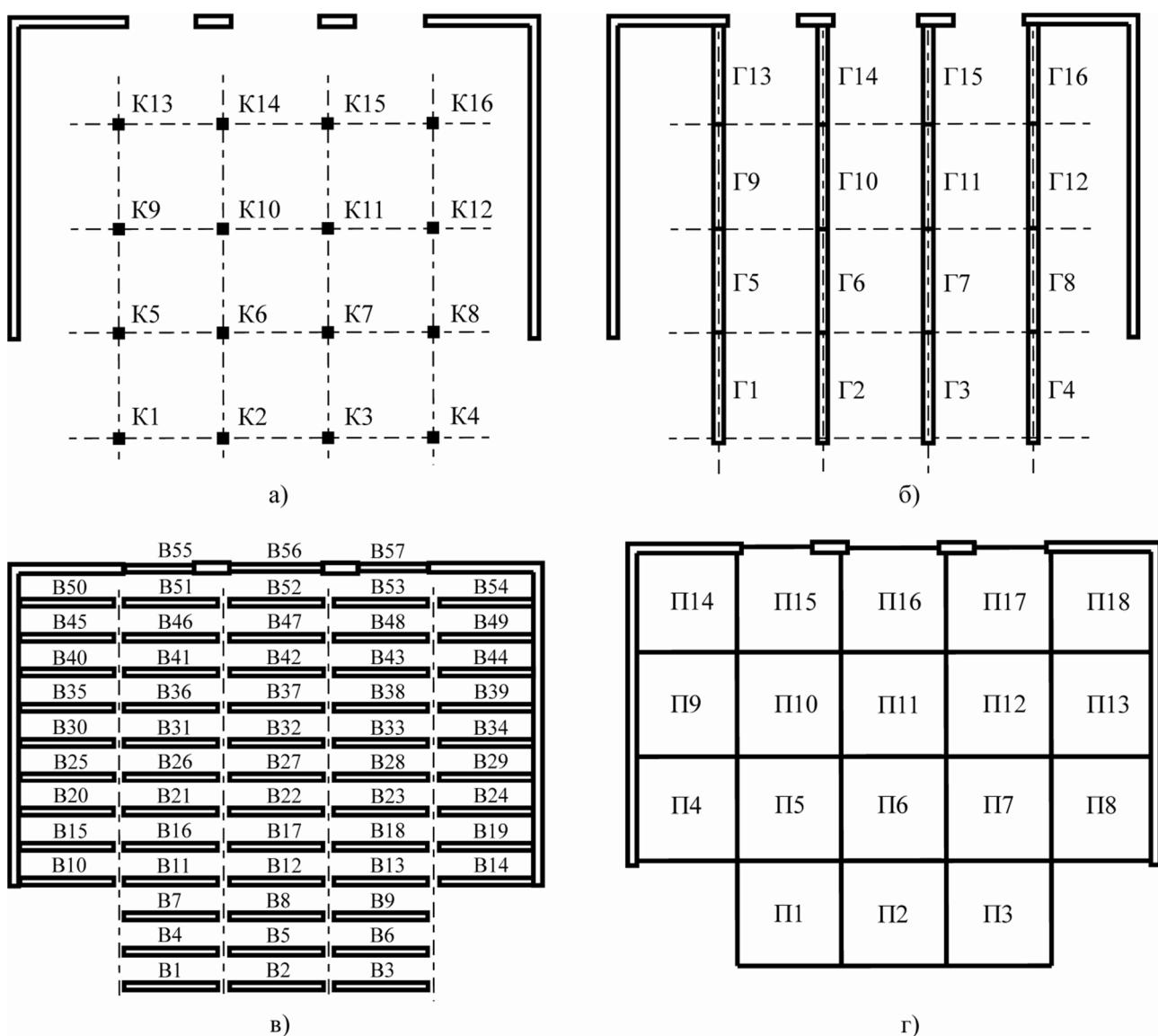


Рисунок 4 – Обозначение конструктивных элементов:
а – схема расположения колонн; б – план главных балок; в – второстепенные балки;
г – листы ячеек настила (K1-K16, Г1-Г16, B1-B57, П1-П18 – маркировки конструктивных элементов)

Заключение

Предлагаемая итерационная схема эволюционного решения экстремальных задач для пластиначато-стержневых несущих систем позволяет выполнять оптимальное проектирование стальных балочных клеток на дискретных множествах параметров. Алгоритм расчета дает возможность синтезировать ряд рациональных вариантов конструкции с учетом ограничений по прочности, жесткости и устойчивости деформируемого объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евдокимцев, О.В. Проектирование и расчет стальных балочных клеток [Текст] / О.В. Евдокимцев. – Тамбов: ТГТУ, 2005. – 136 с.
2. Лихтарников, Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций [Текст] / Я.М. Лихтарников. – М.: Стройиздат, 1979. – 319 с.
3. Иванов, П.М. Проектирование элементов балочной клетки [Текст] / П.М. Иванов. – М.: Вузовская книга, 2008. – 252 с.
4. Zienkiewicz O.C. The finite element method for solid and structural mechanics [Text] / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor – Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. – 631 pp.

5. Серпик, И.Н. Структурно-параметрическая оптимизация стержневых металлических конструкций на основе эволюционного моделирования [Текст] / И.Н. Серпик, А.В. Алексеев, Ф.Н. Левкович, А.И. Тютюнников // Известия вузов. Строительство. – 2005. – № 8. – С. 16-24.
6. СП 16.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. Стальные конструкции [Текст]. – М.: ОАО ЦПП, 2011. – 171 с.
7. Серпик, И.Н. Построение высокопроизводительного алгоритма оптимизации стержневых систем на основе комбинированной эволюционной стратегии [Текст] / И.Н. Серпик, А.В. Алексеев // Строительная механика и расчет сооружений. – 2011. – № 5. – С. 58-63.
8. СП 20.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. – М.: ОАО ЦПП, 2011. – 80 с.
9. Serpik I.N. Development of a new finite element for plate and shell analysis by application of generalized approach to patch test [Text] // Finite Elements in Analysis & Design. – 2010. – Vol. 46, N. 11. – P. 1017-1030.

И.Н. Серпик

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Механика»
Тел.: +7 (910) 337-46-81
E-mail: iserpik@online.debryansk.ru

А.В. Алексеев

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика»
Тел.: +7 960 564 33 58
E-mail: aalexw@mail.ru

М.В. Швыряев

Брянский государственный технический университет, г. Брянск
Старший преподаватель кафедры «Детали машин»
Тел.: +7 915 806 55 12
E-mail: mih_vas_sh@rambler.ru

I. SERPIK, A. ALEKSEYEV, M. SHVIRYAEV

PARAMETRIC OPTIMIZATION OF STEEL BEAM GRILLAGES

The evolutionary algorithm for parametric optimization of plate-rod steel beam grillages structures is developed. The goal is to minimize the mass of metal on discrete sets of parameters. A possibility for sizes varying of rod cross-sections and plate thickness is provided. The example of optimal synthesis of an industrial beam grillage construction is considered.

Keywords: beam grillages; optimization; evolutionary simulation; parametric synthesis; finite element model.

BIBLIOGRAPHY

1. Evdokimcev, O.V. Proektirovanie i raschet stal'nyh balochnyh kletok [Tekst] / O.V. Evdokimcev. – Tambov: TGTU, 2005. – 136 s.
2. Lihtarnikov, Ja.M. Variantnoe proektirovanie i optimizacija stal'nyh konstrukcij [Tekst] / Ja.M. Lihtarnikov. – M.: Strojizdat, 1979. – 319 s.
3. Ivanov, P.M. Proektirovanie jelementov balochnoj kletki [Tekst] / P.M. Ivanov. – M.: Vuzovskaja kniga, 2008. – 252 s.
4. Zienkiewicz O.C. The finite element method for solid and structural mechanics [Text] / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor – Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. – 631 pp.
5. Serpik, I.N. Strukturno-parametricheskaja optimizacija sterzhnevyyh metallicheskikh konstrukcij na osnove jevoljucionnogo modelirovaniija [Tekst] / I.N. Serpik, A.V. Aleksejev, F.N. Levkovich, A.I. Tjutjunnikov // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. – 2005. – № 8. – S. 16-24.

6. SP 16.13330.2011. Aktualizirovannaja redakcija SNiP II-23-81*. Stal'nye konstrukcii [Tekst]. – M.: OAO CPP, 2011. – 171 s.
7. Serpik, I.N. Postroenie vysokoproizvoditel'nogo algoritma optimizacii sterzhnevyyh sistem na osnove kombinirovannoj jevolucionnoj strategii [Tekst] / I.N. Serpik, A.V. Aleksejcev // Stroitel'naja meha-nika i raschet sooruzhenij. – 2011. – № 5. – S. 58-63.
8. SP 20.13330.2011. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.01.07-85*. Nagruzki i vozdejstvija. – M.: OAO CPP, 2011. – 80 s.
9. Serpik I.N. Development of a new finite element for plate and shell analysis by application of generalized approach to patch test [Text] // Finite Elements in Analysis & Design. – 2010. – Vol. 46, N. 11. – P. 1017-1030.

I. Serpik

Bryansk state technological academy of engineering, Bryansk
Doctor of technical science, head of department «Mechanics»
Ph.: +7 (910) 337-46-81
E-mail: iserpik@online.debryansk.ru

A. Alekseytsev

Bryansk state technological academy of engineering, Bryansk
Candidate of technical sciences, associate professor of department «Mechanics»
Ph.: +7 (910) 337-46-81
E-mail: aalexw@mail.ru

M. Shviryaev

Bryansk state technical university, Bryansk
Instructor of department «Parts of machines»
Ph.: +7 915 806 55 12
E-mail: mih_vas_sh@rambler.ru

ТАМРАЗЯН А.Г., МЕХРАЛИЗАДЕХ А.Б.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ШАГА ПЕРЕХОДНЫХ ЭТАЖЕЙ В МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЯХ

Определение шага и установления переходных этажей играет важную роль для обеспечения устойчивости монолитных многоэтажных каркасных зданий от прогрессирующего обрушения. Рассмотрено поведение 45-тиэтажного здания с переходными этажами с учетом внезапно приложенной нагрузки, а также огневых воздействий как следствий пожара. Рассматривается ситуация, возникающая в результате внезапного разрушения одной колонны первого этажа и температурных воздействий в 45-этажном здании с переходными этажами в зависимости от их расположения. Шаги переходных этажей на верхних уровнях регулируются пропорционально нагрузкам и при выходе из строя колонны первого этажа без огневых воздействий вся конструкция работает, здание не разрушается, и все отсеки работают отдельно друг от друга. Динамический расчет монолитных многоэтажных каркасов при огневых воздействиях производится с помощью программы SAP 2000.

Ключевые слова: здание с переходными этажами; прогрессирующее разрушение; огневые воздействия; динамический расчет; пластический шарнир; шаг переходных этажей.

Многоэтажные здания в вертикальном направлении разделяются на ряд функциональных частей. Геометрическую неизменяемость схемы обеспечивают сплошные стены-диафрагмы или цилиндрическое ядро жесткости.

Каждые 15-20 этажей высотной системы отделяются одним жестким этажом с помощью сплошной конструкции: фермы; решетчатой балки и т.п., которые по высоте ограничивают жесткость здания на несколько отсеков, и каждая часть между этими жесткими этажами работает самостоятельно. Переходные этажи в основном используются в виде технических этажей, оборудованных жесткими конструкциями, и отделяются от других частей здания.

Толщина перекрытий в переходных этажах принимается не менее 180 мм, в верхних соседних с переходным этажах – не менее 120 мм.

Прочность бетона перекрытий переходных этажей должна быть не меньше В30. Должно применяться армирование перекрытий в двух направлениях с минимальным процентом армирования каждого направления 0,25%.

В смежных перекрытиях переходных этажей должно применяться двухслойное армирование в двух направлениях. Процент армирования каждого направления должен быть не менее 0,2%. Необходимо усиливать края перекрытий и края отверстий.

С повышением положения переходного этажа отношение жесткости на срез почти не изменяется, отношение поперечной жесткости уменьшается, отношение эквивалентной жесткости повышается. Поэтому для зданий со стенами-диафрагмами и переходными этажами, когда верхние этажи поддерживаются колоннами и балками, располагающимися выше 1-го этажа, изменение отношения эквивалентной жесткости является наиболее оптимальным.

Расположение переходных этажей в монолитных многоэтажных каркасных зданиях на прогрессирующее разрушение рассматривается в двух случаях:

1. Без учета огневых воздействий.
2. С учетом огневых воздействий.

Для этого проведем анализ поведения 45-этажного железобетонного каркаса при нелинейном динамическом расчете с помощью программы SAP 2000 v14.2.

Для оценки несущей способности конструкции нужны нормативные границы, превышение которых означает разрушение конструкции. В качестве таких границ используют предельные моменты, прогибы, кривизны, углы раскрытия (углы поворота) в пластических шарнирах и т.д. (рис. 1).

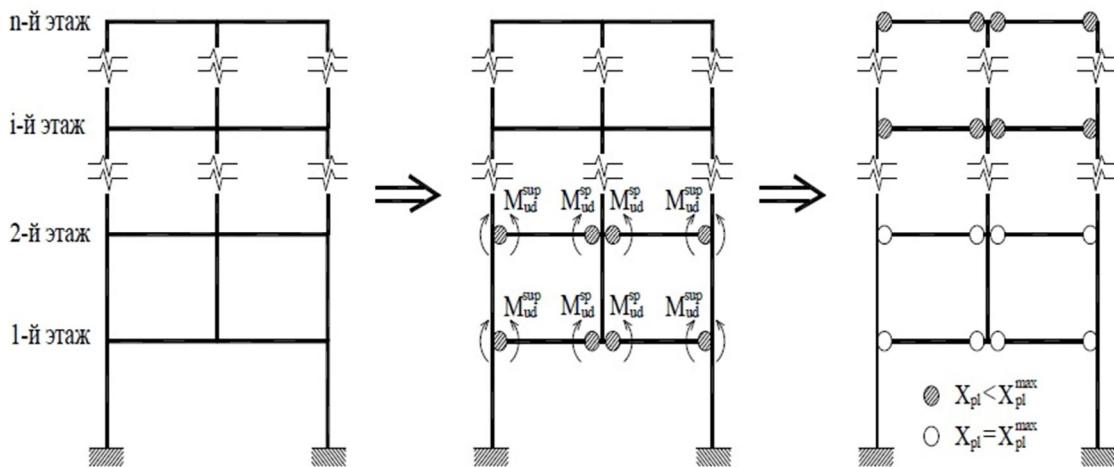


Рисунок 1 – Расчетная схема каркаса в нелинейной постановке

Поэтому определяем значение предельного динамического момента (пластического момента) ригелей для определения влияния огневых воздействий на их несущую способность.

Как известно, при возникновении пожара в зданиях температура среды в очаге пожара может достигать величин 900-1100°C через 20-30 минут после его возникновения. Огневые воздействия являются основной причиной уменьшения несущей способности конструкций и резко отличаются от условий обычной эксплуатации объекта. При повышении температуры от 400°C до 500°C несущая способность резко уменьшается и ригель значительно теряет свою прочность.

Рассматривается ситуация, возникающая в результате внезапного разрушения одной колонны первого этажа и температурных воздействий в 45-этажном здании с переходными этажами в зависимости от расположения переходных этажей. Случай внезапного разрушения колонны является наиболее опасным, так как при этом будет приложено наибольшее динамическое действие на оставшиеся элементы несущей системы. Изгибающие моменты и поперечные силы, возникающие в ригелях этой ячейки каркаса, в несколько раз превышают усилия, возникающие в ригелях, лежащих вне этой ячейки [1]. При этом наибольшие изгибающие моменты и поперечные силы возникают в сечениях нижних ригелей ячейки каркаса, а в ригелях остальных этажей происходит уменьшение изгибающих моментов на несколько процентов.

Здание каркасное монолитное. Ширина и длина здания 30×18 м. Высота первого и типового этажа 3 м. Толщина перекрытий 25 см. Размер сетки колонн 6×6 м. Нагрузка (нормативная):

- постоянная: 4,9 кН/м²;
- длительная 0,9 кН/м².

Размер колонны 80×80 см, бетон тяжелый В25, арматура класса А400. Размер ригелей 30×60 см, бетон тяжелый В30, $R_{bn}=22,0$ МПа, начальный модуль упругости $E_b=29000$ МПа; арматура А400: $R_{sn}=400$ МПа; $E_s=200000$ МПа. Армирование опорных сечений: площадь верхней и нижней арматуры: $A_s=21$ см². Удалена центральная колонна первого этажа.

Данные для нелинейного динамического расчета поврежденного каркаса при температуре 500°C:

$$R_{bnt} = R_{bn} \cdot \gamma_{bt} = 22,0 \cdot 0,8 = 17,6 \text{ МПа.}$$

$$R_{snt} = R_{sn} \cdot \gamma_{st} = 400 \cdot 0,6 = 240 \text{ МПа.}$$

Расчетные сопротивления материалов:

$$\text{- для бетона (класса В30): } R_{bt} = \frac{R_{bnt}}{\gamma_b^*} = \frac{17,6}{1,15} = 15,3 \text{ МПа;}$$

$$\text{- для арматуры класса А400: } R_s = \frac{R_{snt}}{\gamma_s^*} = \frac{240}{1,1} = 218,18 \text{ МПа.}$$

Внезапно приложенная (динамическая) нагрузка на ригели:

$$q_0 = q_{ном.} + q_{дл.} = (4,9 + 0,9) \cdot 6 = 34,8 \text{ кН/м.}$$

$$\text{Масса колеблющейся системы: } m = \frac{q_0}{g} = \frac{34,8}{9,8} = 3,55 \text{ т/м.}$$

Коэффициент динамического упрочнения для бетона при температуре 500°C принимаем по [2]: $\gamma_{bdt} = 0,85$. Для арматурной стали при температуре 500°C $\gamma_{sdt} = 0,6$. Расчетные динамические сопротивления материалов с учетом малой вероятности рассматриваемого события:

- для бетона класса В30: $R_{bdt} = \gamma_{bdt} \cdot R_{bt} = 0,85 \cdot 15,3 = 13,00 \text{ МПа.}$
- для арматуры класса А400: $R_{sdt} = \gamma_{sdt} \cdot R_{st} = 0,6 \cdot 218,18 = 130,90 \text{ МПа.}$

Относительная высота сжатой зоны ригеля:

$$\xi = \frac{R_{sdt} A_s^{sup,sp}}{R_{bdt} b h_0} = \frac{130,90 \cdot 21}{13,0 \cdot 0,30 \cdot 55} = 0,128.$$

$$\alpha_m = \xi(1 - 0,5\xi) = 0,128(1 - 0,5 \cdot 0,128) = 0,120.$$

Границная высота сжатой зоны ригеля при огневых воздействиях:

$$\xi_{Rdt} = \frac{0,772}{1 + \frac{130,9}{400} \left(1 - \frac{0,772}{1,1} \right)} = 0,703.$$

$$\text{При } \omega = 0,85 - 0,006 R_{bdt} = 0,85 - 0,006 \cdot 13 = 0,772.$$

$$\alpha_{m,Rdt} = \xi_{Rdt} (1 - 0,5 \xi_{Rdt}) = 0,703(1 - 0,5 \cdot 0,703) = 0,456.$$

Динамический предельный момент ригеля при температуре 500°C:

$$M_{udt}^{(sup,sp)} = \alpha_m R_{bdt} b h_0^2 = 0,120 \cdot 13 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,55^2 = 140,39 \text{ кНм.}$$

Динамический предельный момент «холодного» ригеля (без огневых воздействий):

$$M_{udt}^{(sup,sp)} = \alpha_m R_{bdt} b h_0^2 = 0,213 \cdot 22,96 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,55^2 = 443,8 \text{ кНм.}$$

Динамический предельный момент ригеля переходных этажей:

$$M_{udt}^{(sup,sp)} = \alpha_m R_{bdt} b h_0^2 = 0,213 \cdot 22,96 \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 0,55^2 = 887,6 \text{ кНм.}$$

А дальше используем влияние огневых воздействий на предельный динамический момент ригелей при температуре от 20°C до 800°C (рис. 2).



Рисунок 2 – Изменение динамического момента ригеля при температуре от 20°C до 800°C

В данной ситуации возникает вопрос о способах предотвращения прогрессирующего обрушения. Один из способов – установка переходных этажей и их возможное расположение

по высоте здания. Для того чтобы уменьшить риск разрушения многоэтажных зданий, а также на любом этаже при выходе из строя колонны, проводится динамический расчет каркаса с переходными этажами и определяется их оптимальное расположение. Расчет проводится для системы балок каркаса. Учет пластических деформаций производится с использованием пластических шарниров, возникающих в опорных и пролетных (у поврежденной колонны) сечениях. Общая устойчивость поврежденной рамы в виде консольной системы с сосредоточенными массами также рассматривается.

Результаты динамических расчетов показали, что установление переходных этажей в нижних этажах дает значительную устойчивость конструкции и уменьшает изгибающие моменты и поперечные силы, возникающие в ригелях этой ячейки каркаса. Установления последующего шага по высоте здания регулируются в зависимости от осевых нагрузок и изгибающих моментов.

Динамический эффект играет важную роль при прогрессирующем разрушении, но влияние динамического эффекта уменьшается с ростом пластических деформаций.

Для оценки динамического эффекта часто применяют понятие коэффициента динамичности. Обычно под коэффициентом динамичности понимают отношение максимального динамического перемещения к статическому при одной и той же величине нагрузки. Однако для поставленной задачи более удобно использовать коэффициент динамичности по нагрузке K_{dv} , представляющий собой отношение статической нагрузки к динамической, которые вызывают в системе одно и то же перемещение.

Численными методами выяснили, что шаг переходных этажей для каркасной многоэтажной конструкции имеет следующую конфигурацию (рис. 3).

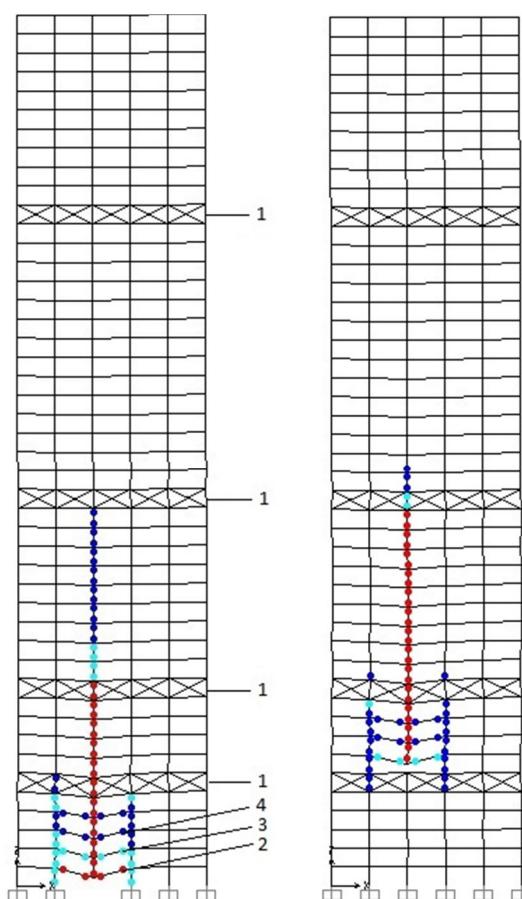


Рисунок 3 – Поведение каркаса 45-тиэтажного здания с переходными этажами при выходе из строя колонн первого этажа первого отсека (а) и второго отсека (б) с учетом огневых воздействий. 1 – переходные этажи; 2 – начальная пластическая стадия; 3 – пластическая стадия перед разрушением; 4 – стадия образования пластических шарниров (стадия разрушения)

С такими конфигурациями устройство переходных этажей на нижних уровнях необходимо для того, чтобы контролировать вертикальные усилия и осевые нагрузки, вызванные верхними этажами [3]. Шаг переходных этажей на верхних уровнях регулируется пропорционально нагрузкам, и при выходе из строя колонны первого этажа без огневых воздействий вся конструкция работает, и обрушения нет.

Как видно из рисунка, устройство переходных этажей с такими конфигурациями дает значительную устойчивость зданию при локальном обрушении и на прогрессирующее разрушение с учетом огневых воздействий, и как видно на этих рисунках – ни в одном из этих отсеков нет обрушения.

Выводы

1. Огневые воздействия при температуре до 800°C уменьшают несущую способность материала до 20 раз и влияют на скорость обрушения во много раз быстрее.
2. Для высотных зданий с каркасной системой одним из важнейших способов от прогрессирующего обрушения является установка переходных этажей.
3. Рекомендуется использование переходных этажей в виде крестовых связей. Крестовые связи дают значительную устойчивость конструкции и уменьшают прогибы, изгибающие моменты и поперечные силы, вызывающие вертикальные нагрузки от верхних этажей.
4. При наличии переходных этажей для 45-тиэтажного здания при выполнении каждого 5-го этажа как переходного величина изгибающего момента в ригеле первого этажа после удаления средней колонны снижается до 4 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tamrazyan A.G., Mehralizadeh B.A. Study of monolithic high-rise buildings with transfer floors under progressive destruction in the nonlinear formulation // 15Th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE), Lisbon, Portugal, 2012.
2. Тамразян, А.Г. Особенности проявления огневых воздействий при расчете конструкций на прогрессирующее разрушение зданий с переходными этажами / А.Г. Тамразян, Б.А. Мехрализаде // Научно-технический журнал «Пожаровзрывобезопасность». – 2012. – №12. – С. 41-44.
3. Баженов, Ю.М. Бетон при динамическом нагружении [Текст] / Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1970. – С. 270.

А.Г. Тамразян

Московский государственный строительный университет, г. Москва

Доктор технических наук, профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции»

Тел.: +7 903 730 58 43

E-mail: tamrazian@mail.ru

А.Б. Мехрализаде

Московский государственный строительный университет, г. Москва

Аспирант кафедры архитектурно-строительного проектирования

A. TAMRAZIAN, B. MEHRALIZADEH

DISTANCE TO THE DETERMINATION OF TRANSITION FLOORS IN MULTI-STOREY FRAME BUILDING

Distance Definition and establishment of transitional floors plays an important role for the sustainability of the monolithic multi-story frame building on the progressive collapse. The behavior of the 45-storey building with the transitional floors with the suddenly applied load and fire effects as a

result of a fire. We consider the situation arising from the sudden destruction of one column of the first floor and the effects of temperature in the 45-storey building with the transitional floors, depending on their location. Distance transitional floors on the upper levels adjusted in proportion to load and at failure of the columns of the first floor without fire impacts that the construction works, the building does not collapse, and all the compartments work separately from each other. Dynamic analysis of monolithic multi-storey frames with fire effects is performed using SAP 2000.

Keywords: building the transitional floors; progressive destruction; fire effects; dynamic analysis; a plastic hinge; distance transitional floors.

BIBLIOGRAPHY

1. Tamrazyan A.G., Mehralizadeh B.A. Study of monolithic high-rise buildings with transfer floors under progressive destruction in the nonlinear formulation // 15Th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE), Lisbon, Portugal, 2012.
2. Tamrazjan, A.G. Osobennosti projavlenija ognevyyh vozdejstvij pri raschete konstrukcij na progressirujushhee razrushenie zdanij s perehodnymi jetazhami / A.G. Tamrazjan, B.A. Mehralizadeh // Nauchno-tehnicheskij zhurnal «Pozharovzryvobezopasnost'». – 2012. – №12. – S. 41-44.
3. Bazhenov, Ju.M. Beton pri dinamicheskem nagruzenii [Tekst] / Ju.M. Bazhenov. – M.: Stroizdat, 1970. – S. 270.

A. Tamrazyan

Moscow state construction university, Moscow
Doctor of technical sciences, professor of department «Concrete and stone structures»
Ph.: +7 903 730 58 43
E-mail: tamrazian@mail.ru

B. Mehralizadeh

Moscow state construction university, Moscow
Postgraduate student of department of architectural design

УДК 504.054

АЗАРОВ В.Н., КОШКАРЕВ С.А., СОКОЛОВА Е.В.

К ОБОСНОВАНИЮ РАЗМЕРА САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ АЗС ПРИ СНИЖЕНИИ ВЫБРОСОВ ПАРОВ ТЯЖЕЛЫХ УГЛЕРОДОВ

Статья посвящена вопросу обоснования размера санитарно-защитной зоны АЗС. В статье представлены результаты измерения концентраций вредных веществ на территории АЗС и границе жилой зоны. Выполнен анализ технологических методов снижения выбросов загрязняющих веществ – тяжелых углеводородов. Проведен анализ, даны рекомендации к обоснованию размера санитарно-защитной зоны АЗС и вывод по эффективности снижения выбросов загрязняющих веществ от АЗС выбранных технологических методов.

Ключевые слова: опасные (вредные) вещества; топливозаправочный комплекс (АЗС); выбросы загрязняющих веществ; санитарно-защитная зона (СЗЗ).

Основная часть АЗС в настоящее время сконцентрирована в крупных городах. При этом имеет место значительный рост как числа АЗС, так и объемов топлива – бензина и дизельного топлива, проходящих через АЗС. В связи с интенсивным ростом числа АЗС в пределах городской черты имеет место практическая минимизация размеров площадок, занимаемых АЗС. Это особенно характерно для крупных городов, в т.ч. для Ставрополя и Волгограда. Нормативной литературой [1] санитарно-защитная зона (СЗЗ) устанавливается размером 50 м для автозаправочных станций с числом ТРК не более 3-х единиц только для заправки легкового автотранспорта жидким топливом, в том числе с объектами обслуживания (магазины, кафе). Для АЗС с осуществлением заправки грузового и легкового автотранспорта жидким и газовым топливом размер СЗЗ составляет 100 м. Для анализа влияния каждого вида источников выделений на значения концентраций ингредиентов были проведены измерения концентраций углеводородов нефти на территории среднестатистической АЗС №18 «ЛУКОЙЛ» и близлежащей жилой застройке, расположенной в г. Ставрополь. Результаты измерения концентраций углеводородов нефти приведены в таблице 1.

Анализ результатов проведенных натурных измерений концентраций загрязняющих веществ на территории АЗС №18 в атмосфере показал, что максимальные выбросы наблюдаются при одновременном сливе топлива из автоцистерны-топливозаправщика в 2 наземных резервуара (пп. 4-6 табл. 1). Количество одновременно работающих топливораздаточных колонок (ТРК) (количество одновременно заправляемых автотранспортных средств) не оказывает значительного влияния на уровень загрязнения атмосферы. Так при одновременной заправке на 8 ТРК и 2 ТРК в соответствующей точке отношение средней суммарной величины концентрации углеводородов для таких процессов составляет около $Ko=2,0$. Данное соотношение для одновременного слива топлива из автоцистерны-топливозаправщика в 2 наземных резервуара и одновременной заправке автомобилей на 8 ТРК составляет около 5,2. Следовательно, процесс слива топлива из автоцистерны-топливозаправщика в значительно большей мере определяет воздействие на атмосферный воздух. Это подтверждается не только результатами проведенных измерений концентраций загрязняющих веществ в атмосфере в районе расположения АЗС, но и также расчетами мощности выбросов по методике [2-3].

Таблица 1 – Результаты измерения концентраций углеводородов нефти на АЗС №18 «ЛУКОЙЛ» г. Ставрополь.

№ точки измерения	Концентрация, мг/м ³	Примечания
1	3-6	Заправка 2-х автомобилей.
2	5-10 12-35	Заправка 2-х автомобилей. Заправка 8 автомобилей.
3	16-157 6-23	В момент слива топлива из АЦ. В момент заправки автомобилей.
4	18-184 4-37	В момент слива топлива из АЦ. В момент заправки автомобилей.
5	20-197 4-40	В момент слива топлива из АЦ. В момент заправки автомобилей.
6	2-5 6-10	Заправка 2-х автомобилей. Заправка 8 автомобилей.
7	2-4 5-7 5-46	Заправка 2-х автомобилей. Заправка 8 автомобилей. В момент слива топлива из АЦ.
8	2-4 3-8 3-38	Заправка 2-х автомобилей. Заправка 8 автомобилей. В момент слива топлива из АЦ.
9	2-4 3-7 3-31	Заправка 2-х автомобилей. Заправка 8 автомобилей. В момент слива топлива из АЦ.
10	2-3 2-17	Заправка автомобилей. В момент слива топлива из АЦ.
11	2-3 2-12	Заправка автомобилей. В момент слива топлива из АЦ.

Постоянное увеличение объемов выбросов загрязняющих веществ от АЗС предполагает проведение на АЗС комплекса природоохранных мероприятий, направленных на снижение массы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. В ряде работ [4] указано на основные направления в части снижения количества выбросов вредных веществ в атмосферу. Такими могут быть организационно-технологические мероприятия, например, снижение мощности выбросов и количества одновременно работающих источников. К такой группе мероприятий относится одновременный слив только из одной автоцистерны в резервуар АЗС. Данные технологические решения не приводят к значительным финансовым затратам. Максимально-разовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу снижаются в два раза. Это подтверждается также расчетами по методике [2-3] и результатами проведенных измерений концентраций загрязняющих веществ в атмосфере в районе расположения АЗС. Концентрации ряда загрязняющих веществ на границе жилой застройки, расположенной в пределах СЗЗ АЗС, согласно проведенным измерениям, превышают допустимые значения концентраций: $C \geq Спдк$ (пп. 8-10 табл. 1). При этом валовые (среднегодовые) выбросы практически не изменяются, если среднегодовой расход топлива, проходящий через АЗС, так же не изменяется.

Проведение природоохранных мероприятий, связанных с работами по заглублению резервуаров АЗС, требует значительных затрат. Расчеты, проводимые по методике [2-3], показывают, что максимально-разовые и валовые выбросы в этом случае снижаются до 24%. Валовые (среднегодовые) выбросы уменьшаются в соответствующей степени, если только среднегодовой расход топлива, проходящий через АЗС, так же не изменяется.

Таким образом, количество одновременно работающих ТРК (одновременно заправляемых автотранспортных средств) или общее количество ТРК не должно быть определяющим критерием при назначении размера нормативной санитарно-защитной зоны АЗС. Кроме того, для АЗС, у которых в пределах границы СЗЗ расположена жилая застройка, предполагается осуществление дополнительной системы природоохранных мероприятий. Такая система должна реализовывать снижение как максимально-разовых, так и валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» [Текст]. – М., 2003.
2. Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров» [Текст]. – С.-Петербург: фирма «Integral», 1997.
3. Дополнение к «Методическим указаниям по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров» [Текст]. – С.-Петербург: НИИ «Атмосфера», 2002.
4. Азаров, В.Н. Промышленная экология [Текст]: учебник для высш. учеб. заведений министерства образования и науки РФ / В.Н. Азаров, А.И. Ажгиревич, В.А. Грачев и др. – М.-Волгоград: ПринТерра, 2009. – 840 с.

В.Н. Азаров

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, г. Волгоград
Доктор технических наук, профессор

С.А. Кошкarev

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, г. Волгоград
Кандидат технических наук

Е.В. Соколова

Северо-Кавказский Федеральный университет, г. Ставрополь
Преподаватель

V. AZAROV, S. KOSHKAREV, E. SOKOLAVA

STATEMENT TO SANITARY DEFENSES' ZONES VOLUMES' DIMENSION FOR REDUCING EMISSIONS OF DANGEROUS POLLUTIONS HEAVY CARBON-HYDROGENOUS SUBSTANCES

There is analysis of the results of concentration's measurements of dangerous substances at the gas-supplying complexes' territories and the board human habitants in this article. It was fulfilled analysis of the technological ways to reduce emissions of ingredient's pollutions (heavy carbon-hydrogenous) for those gas-supplying complexes. There was made analysis and conclusion about sanitary defenses' zones volumes' dimension and efficiency for choosing approaches of reduction emissions of dangerous pollutions for these gas-supplying complexes'.

Keywords: dangerous substances; gas-supplying complexes; emissions pollutions; sanitary-defenses' zones.

BIBLIOGRAPHY

1. SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Sanitarno-zashhitnye zony i sanitarnaja klassifikacija predprijatij, sooruzhenij i inyh ob#ektov» [Tekst]. – M., 2003.
2. Metodicheskie ukazanija po opredeleniju vybrosov zagrjaznjajushhih veshhestv v atmosferu iz rezervuarov» [Tekst]. – S.-Peterburg: firma «Integral», 1997.
3. Dopolnenie k «Metodicheskim ukazanijam po opredeleniju vybrosov zagrjaznjajushhih veshhestv v atmosferu iz rezervuarov» [Tekst]. – S.-Peterburg: NII «Atmosfera», 2002.
4. Azarov, V.N. Promyshlennaja jekologija [Tekst]: uchebnik dlja vyssh. ucheb. zavedenij ministerstva obrazovaniya i nauki RF / V.N. Azarov, A.I. Azhgirevich, V.A. Grachev i dr. – M.-Volgograd: PrinTerra, 2009. – 840 s.

V. Azarov

Volgograd state university of architecture and civil engineering, Volgograd
Doctor of technical science, professor

S. Koshkarev

Volgograd state university of architecture and building construction, Volgograd
Candidate of technical science, assistant of professor

E. Sokolava

North caucasian state federal university, Stavropol
Teacher

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЯ ДОСТУПНОСТИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ МАЛОМОБИЛЬНЫМ ГРУППАМ НАСЕЛЕНИЯ

В настоящей работе для количественной оценки степени доступности зданий и сооружений маломобильным группам населения предлагается ввести комплексный показатель доступности, определяемый для основных структурно-функциональных, целевых зон и элементов объекта. Представлена методика расчета и пример ее реализации.

Ключевые слова: показатель доступности; маломобильные группы населения; нормативные требования; весовые коэффициенты; экспертный подход; биосфера совместимость.

Актуальность задачи создания адекватной среды, в частности, проблемы доступности городской инфраструктуры инвалидам и маломобильным группам населения (МГН) и разработка способов ее количественной оценки широко обсуждается как в средствах массовой информации, так и в специализированной литературе. Конвенция о правах инвалидов, принятая Генеральной ассамблей ООН в 2006 г., утверждает, что не инвалид является неприспособляемым к нормальной физической и социальной среде, а физическое и социальное окружение содержит барьеры, препятствующие нормальной жизни инвалида и эффективной реализации его прав. Это означает, что ограничение возможностей лиц МГН возникает не только из-за функциональных ограничений здоровья, но и из-за ограничений среды жизнедеятельности.

С середины 90-х годов в России начинают проводиться исследования и предприниматься меры для решения проблем, связанных с вовлечением МГН во все жизненные сферы. Градостроительные кодексы РФ 1998 и 2005 гг. требуют «создания условий для беспрепятственного доступа инвалидов к объектам инженерной, транспортной и социальной инфраструктур». Эти же требования содержат Федеральный закон «О социальной защите инвалидов в РФ», Указ Президента РФ «О мерах по формированию доступной для инвалидов среды жизнедеятельности», Постановление Правительства РФ «О мерах по обеспечению беспрепятственного доступа инвалидов к информации и объектам социальной инфраструктуры», Постановление Государственного комитета РФ по жилищной и строительной политике и Минтруда и социального развития РФ «Об утверждении порядка реализации требований доступности для инвалидов к объектам социальной инфраструктуры». Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации принятая государственная программа «Доступная среда» на 2011-2015 годы. Основная задача, поставленная перед регионами, – обеспечение безбарьерной среды для МГН в приоритетных объектах социальной, транспортной и инженерной инфраструктуры.

Разработаны принципы и нормы формирования жилой среды, учитывающие специфические особенности людей с ограниченными возможностями [1, 2]. Обзор документов, содержащих основные положения и нормативные требования к проектированию общественных зданий и сооружений с учетом потребностей маломобильных групп населения, приводится в статье [3]. В работах [4-7] обсуждаются государственные и региональные целевые программы по обеспечению доступности и опыт по реализации этих программ в различных регионах. Однако, несмотря на очевидные усилия федеральных и региональных властей, реализация принимаемых программ и решений на практике, внедрение универсального дизайна и ликвидация различных «барьеров» на местах осуществляется крайне медленно и часто ограничивается лишь устройством пандусов.

Одной из причин неэффективности организации и управления состоянием городского пространства с позиций удовлетворения потребностей маломобильных групп населения является не-

* Работа выполнена в рамках государственного задания №7.1694.2011.

достаток и несовершенство количественных критериев оценки приспособленности городских объектов для граждан с разными потребностями, социальными и физическими возможностями.

В работе [8] приводится методика комплексной оценки городской среды на предмет соответствия потребностям инвалидов и МГН. Авторами сформулированы и обоснованы системы соответствующих оценочных показателей доступности, безопасности и комфортности городской среды указанным группам населения. Задача определения количественных значений таких критериев решалась анкетированием с использованием экспертных оценок. В результате предложены интервалы значений критериев для трехуровневой оценки качества (хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно) окружающего МГН пространства. В работе [9] обсуждаются модели и количественные методы анализа отдельных характеристик городской системы. Для изучения сложных многопараметрических явлений городской среды экосистемы вводится совокупность признаков-индикаторов, характеризующих территориальные подсистемы города применительно к условиям г. Баку (Азербайджан).

Тем не менее, несмотря на возросший интерес к обозначенной проблеме представителей органов власти, проектировщиков и научных коллективов, до сих пор отсутствует четкая расчетная методика, которая позволила бы не только количественно оценить доступность для МГН зданий и сооружений, но и отразить состояние доступности каждой из имеющихся структурно-функциональных, целевых зон и элементов этих объектов.

Нормативные требования к параметрам генпланов, архитектурно-планировочным и конструктивным решениям, обеспечивающих доступность объектов маломобильным группам населения, можно систематизировать для следующих зон и элементов: структурно-функциональной зоны объекта (СФ) (не зависит от назначения) и зоны целевого назначения (Ц), отражающей его типологию.

Зона СФ включает территорию объекта T , входную группу B , пути движения в здании D , зону безопасности B , санитарно-бытовые помещения C . В свою очередь:

территория объекта T включает 13 элементов: калитку T_1 , пути подхода T_2 , информационную табличку T_3 , тактильные указатели T_4 , ограничительную разметку T_5 , тротуар T_6 , разъездной карман T_7 , бордюрный пандус T_8 , покрытие T_9 , открытую лестницу T_{10} , наружный пандус T_{11} , автостоянку T_{12} , вход в учреждение T_{13} ;

входная группа B включает 8 элементов: входы B_1 , входную лестницу B_2 , навес B_3 , водоотвод B_4 , входную площадку B_5 , наружный пандус B_6 , входную дверь B_7 , тамбур B_8 ;

пути движения в здании D состоят из 8 элементов: горизонтальных коммуникаций D_1 , помещения D_2 , вертикальных коммуникаций – лестничных маршей D_3 , вертикальных коммуникаций – краев ступеней, не примыкающих к стене D_4 , пандусов D_5 , лифтов D_6 , номеров этажей D_7 , подъемных платформ D_8 ;

зона безопасности B является самостоятельным элементом B_1 ;

санитарно-бытовые помещения C включают 3 элемента: кабины в уборной C_1 , универсальные кабины C_2 , душевую C_3 .

Требования действующих норм [10] к каждому элементу, согласно которым должна быть обеспечена доступность для МГН мест целевого посещения, беспрепятственность и безопасность передвижения внутри зданий и сооружений, получение информации и услуг, использование оборудования, участие в учебном процессе и т.д., можно представить в виде векторов. В частности, требование нормативных документов к каждому элементу T_i^h ($i = 1, 2, \dots, 13$) представим в виде многокомпонентного вектора первого уровня $\bar{T}_i^h = \{T_{(i)1}^h, T_{(i)2}^h, \dots, T_{(i)n_i}^h\}$, где $T_{(i)j}^h$ – j -ое требование к i -му элементу T (территории объекта) ($j=1, 2, \dots, n_i$), n_i – количество требований к i -му элементу (количество компонент вектора \bar{T}_i^h).

Каждому требованию $T_{(i)j}$ экспертами ставится в соответствие безразмерная величина $l_{(i)j}$ – весовой коэффициент, характеризующий степень значимости данного требования для лица МГН ($0 \leq l_{(i)j} \leq 1$). Сумма весовых коэффициентов подчиняется условию: $\sum_{j=1}^{n_i} l_{(i)j} = 1$.

Весовые коэффициенты $l_{(i)j}$, соответствующие каждой компоненте вектора 1-го уровня \bar{T}_i , также представим компонентами векторов $\bar{l}_{Ti} = \{l_{T(i)1} l_{T(i)2} \dots\}$.

В качестве примера в таблице 1 приведена в матричной форме совокупность нормативных требований к элементам объекта T [10] (числитель), а также их весовые коэффициенты $l_{(i)j}$ (знаменатель).

Таблица 1 – Структура нормативных требований $a_{(i)j}^h$ к элементам объекта и их весовые коэффициенты для «Территории объекта»

$j \setminus i$	\bar{T}_1^h	\bar{T}_2^h	\bar{T}_3^h	\bar{T}_4^h	\bar{T}_5^h	\bar{T}_6^h	\bar{T}_7^h	\bar{T}_8^h	\bar{T}_9^h	\bar{T}_{10}^h	\bar{T}_{11}^h	\bar{T}_{12}^h	\bar{T}_{13}^h
1	да/0,1	да/0,5	да/1	0,8м/ 0,5	да/1	$\leq 5\% /$ 0,4	25м/ 0,4	да/1	нет/ 0,5	0,4/ 0,1	$\leq 9\text{м} /$ 0,2	да/1	$\leq 50\text{м} /$ 0,4
2	да/0,2	да/0,5		0,6м/ 0,5		$\leq 10\% /$ 0,1	2м/ 0,3		да/ 0,5	0,15/ 0,1	$\leq \frac{1}{20} /$ 0,2		6x3,6/ 0,6
3	0,9м/0,7					$\leq 2\% /$ 0,1	1,8м/ 0,3			да/ 0,15	1м/ 0,05		
4						$\leq 1,2\text{м} /$ 0,3				да/ 0,15	1,5м/ 0,1		
5						да/0,1				3-12/ 0,1	1,5м/ 0,1		
6										0,9м/ 0,15	да/ 0,05		
7										1м/ 0,1	0,92/ 0,1		
8										да/ 0,15	нет/ 0,1		
9											да/ 0,05		
10											да/ 0,05		

Аналогично вводятся векторы 1-го уровня, содержащие требования к остальным частям структурно-функциональной зоны объекта:

входная группа B :

$$\bar{B}_i = \{B_{(i)1} B_{(i)2} \dots B_{(i)n_i}\} \quad n_i = 8;$$

зона безопасности B :

$$\bar{B}_i = \{B_{(i)1} B_{(i)2} \dots B_{(i)n_i}\} \quad n_i = 1;$$

пути движения в здании D :

$$\bar{D}_i = \{D_{(i)1} D_{(i)2} \dots D_{(i)n_i}\} \quad n_i = 8;$$

санитарно-бытовые помещения C :

$$\bar{C}_i = \{C_{(i)1} C_{(i)2} \dots C_{(i)n_i}\} \quad n_i = 3.$$

К целевым зонам зданий в зависимости от их назначений, также предъявляется ряд нормативных требований. В частности, основные нормативные показатели, присущие зданиям и помещениям учебно-воспитательного назначения Y , приведены в таблице 2. Так, целевая зона этой группы зданий включает 4 элемента: учебные аудитории Z_1 ; актовые и зрительные залы Z_2 ; читальные залы библиотек Z_3 ; рабочие места инвалидов Z_4 .

Суть предлагаемой методики заключается в определении степени близости фактического значения параметра к нормативному путем сравнения фактических значений параметров $a_{(i)j}^\phi$ с нормативными $a_{(i)j}^h$:

$$\lambda_{(i)j} = \frac{a_{(i)j}^\phi}{a_{(i)j}^h} \text{ либо } \left(\frac{a_{(i)j}^h}{a_{(i)j}^\phi} \right). \quad (1)$$

Таблица 2 – Перечень основных требований к целевым зонам зданий учебно-воспитательного назначения

$\begin{smallmatrix} i \\ j \end{smallmatrix}$	$\overline{3_1}$	$\overline{3_2}$	$\overline{3_3}$	$\overline{3_4}$
1	Однотипность Наличие	Места для инвалидов на креслах-колясках в зале на 50-150 мест - 3-5 мест; в зале на 150-300 мест - 5-7 мест; в зале на 300-500 мест - 7-10 мест.	Специально оборудованные читальные места для учащихся – инвалидов Не менее 5%	1,5×0,9 м без учета поверхности стола
2	Места для слабовидящих Первые столы, ряд у окна, средний ряд	Доступность на эстраду, сцену Наличие	Места для слабовидящих Дополнительное освещение по периметру	
3	Места для слабослышащих Первые столы, ряд у окна, средний ряд		Проходы в читальном зале Ширина не менее 1,2 м	
4	Места для инвалидов на креслах-колясках 1-2 первых столов у дверного проема			

Характеристика $\lambda_{(i)j}$ изменяется от 0 (полное несоответствие фактического параметра нормативному требованию) до 1 (полное соответствие). При вычислении коэффициентов $\lambda_{(i)j}$ следует учитывать следующие нюансы:

- если норматив задается в виде неравенства, то характеристика $\lambda_{(i)j}$ принимается равной 1, когда фактическое значение параметра удовлетворяет этому неравенству;
- если нормативное значение параметра фиксированное число, то характеристика $\lambda_{(i)j}$ принимается равной 1 (0), когда фактическое значение равно этому числу (не равно);
- в ряде случаев, когда численное фактическое значение параметра отличается в определенную сторону от нормативного, следует принимать значение характеристики $\lambda_{(i)j}$, равное нулю. Например, когда фактическое значение ширины дверного проема меньше нормативного, следует принимать $\lambda_{(i)j} = 0$, так как проезд инвалида-колясочника будет невозможным;
- если нормативное требование к объекту качественное (да/нет), то характеристика $\lambda_{(i)j}$ равна 1(0), когда нормативное и фактическое требования одинаковы (противоположны) по смыслу.

Аналогично векторам 1-го уровня $\overline{T_i^h}, \dots, \overline{C_i^h}$, введем в рассмотрение векторы $\overline{\lambda_i}$, компонентами которых являются характеристики $\lambda_{(i)j}$. Например, вектору $\overline{T_1} = \{T_{(1)1} T_{(1)2} T_{(1)3}\}$, содержащему требования к элементу «калитка» части «территории объекта», соответствует вектор $\overline{\lambda_{T1}} = \{\lambda_{T(1)1} \lambda_{T(1)2} \dots \lambda_{T(1)3}\}$, характеризующий различия между нормативными требованиями и фактическими значениями характеристик элемента «калитка».

Показатели доступности различного уровня

Определим показатель доступности элемента структурно-функциональной зоны η_{ai} как скалярное произведение векторов $\overline{\lambda_{ai}}$ и $\overline{l_{ai}}$. Например, показатель доступности калитки (T_1) равен: $\eta_{T1} = \overline{l_{T1}} \overline{\lambda_{T1}} = l_{T(1)1} \lambda_{T(1)1} + l_{T(1)2} \lambda_{T(1)2} + \dots + l_{T(1)3} \lambda_{T(1)3}$. (2)

Аналогично вычисляются показатели доступности для остальных элементов «территории объекта»: $\eta_{T2}, \eta_{T3}, \eta_{T4} \dots \eta_{T13}$, а также для элементов других частей структурно-функциональной зоны: В, Д, Б, С:

$\eta_{B1}, \dots, \eta_{B8}; \eta_{D1}, \dots, \eta_{D8}; \eta_B; \eta_{C1}, \dots, \eta_{C3}$.

Далее, оценивая весомость каждого элемента части структурно-функциональной зоны, например, «территория объекта T » вектором $\overline{l_T} = \{l_{T1} l_{T2} \dots l_{T13}\}$, удовлетворяющего условию:

$\sum_{i=1}^{13} l_{Ti} = 1$, получим показатель доступности «территории объекта» η_T , который определяем как скалярное произведение вектора показателей доступности элементов этой части структурно-функциональной зоны: $\overline{V_T} = \{\eta_{T1} \eta_{T2} \dots \eta_{T13}\}$ и вектора весомости элементов $\overline{l_T}$:

$$\eta_T = \overline{V_T} \cdot \overline{l_T} = (\eta_{T1} l_{T1} + \dots + \eta_{T13} l_{T13}). \quad (3)$$

Если принять весомость каждого элемента «территории объекта» одинаковой, т.е. принять:

$$l_{T1} = l_{T2} = \dots = l_{T13} = \frac{1}{13},$$

то показатель доступности «территории объекта» становится равным среднему значению показателей доступности элементов территории $\eta_{Ti} \quad i = (1, 2 \dots 13)$.

$$\eta_T = \overline{V_T} \cdot \overline{l_T} = \frac{1}{13} (\eta_{T1} + \dots + \eta_{T13}). \quad (4)$$

Аналогично рассчитываются показатели доступности остальных частей структурно-функциональной зоны:

$$\eta_B = \overline{V_B} \cdot \overline{l_B} = \frac{1}{8} (\eta_{B1} + \dots + \eta_{B8}), \quad \eta_C = \overline{V_C} \cdot \overline{l_C} = \frac{1}{3} (\eta_{C1} + \dots + \eta_{C3}). \quad (5)$$

Далее экспертами назначаются весовые коэффициенты требований к элементам зоны целевого назначения. Применительно к зоне целевого назначения Z_i объекта учебно-воспитательного назначения вектор весовых коэффициентов i -го элемента принимает вид:

$$\overline{l_{3i}} = \{l_{3(i)1} \dots l_{3(i)n_i}\}, \quad \sum_{j=1}^{n_i} l_{3(i)j} = 1. \quad (6)$$

Тогда показатель доступности данного элемента η_{3i} зоны целевого назначения есть скалярное произведение векторов $\overline{l_{3i}}$ и $\overline{\lambda_{3i}}$

$$\eta_{3i} = \overline{l_{3i}} \cdot \overline{\lambda_{3i}} = \sum_{j=1}^{n_i} l_{3(i)j} \lambda_{3(i)j}, \quad (i = 1, 2, \dots, 4). \quad (7)$$

Аналогично рассчитываются показатели доступности всех элементов зоны целевого назначения. Показатель доступности целевой зоны определяется как скалярное произведение векторов $\overline{V_3}$ и $\overline{l_3}$:

$$\eta_3 = \overline{V_3} \cdot \overline{l_3},$$

где $\overline{V_3} = \{\eta_{31} \eta_{32} \dots \eta_{34}\}$ – вектор показателей доступности элементов целевой зоны, $\overline{l_3} = \{l_{31} l_{32} \dots l_{34}\}$ – вектор назначаемых экспертами весовых коэффициентов значимости элементов данной целевой зоны. Если $l_{31} = \dots = l_{34} = \frac{1}{4}$, то показатель доступности зоны целевого назначения:

$$\eta_3 = \overline{V_3} \cdot \overline{l_3} = \frac{1}{4} (\eta_{31} + \dots + \eta_{34}). \quad (8)$$

Далее эксперты назначают весовые коэффициенты частей структурно-функциональной зоны l_T, l_B, l_D, l_B, l_C так, чтобы выполнялось условие:

$$l_T + l_B + l_D + l_E + l_C + l_3 = 1. \quad (9)$$

Тогда *доступность* данного учреждения учебно-воспитательного назначения, например, школы, оценивается показателем:

$${}^1\eta_{шк} = \frac{1}{6} \left(\overline{V_{c\phi}} l_{c\phi} + {}^1\eta_3 \right) = \frac{1}{6} \left(\eta_T + \dots + \eta_C + {}^1\eta_3 \right), \quad (10)$$

где $\overline{V_{c\phi}} = \{ \eta_T \eta_B \eta_D \eta_E \eta_C \}$ – вектор показателей доступности частей структурно-функциональной зоны объекта (школы);

$\overline{l_{c\phi}} = \{ l_T l_B l_D l_E l_C \}$ – вектор весовых коэффициентов частей структурно-функциональной зоны, ${}^1\eta_3$ – показатель доступности целевой зоны данной школы.

Доступность всех m учреждений учебно-воспитательного назначения данного типа (например, школ) района:

$$\eta_{шк} = \left({}^1\eta_{шк} + {}^2\eta_{шк} + \dots + {}^m\eta_{шк} \right) / m. \quad (11)$$

Аналогично строятся показатели доступности других объектов учебно-воспитательного назначения района: детских садов, музыкальных школ и т.п.

$$\eta_{д.сад} = \left({}^1\eta_{д.сад} + {}^2\eta_{д.сад} + \dots + {}^p\eta_{д.сад} \right) / p; \quad (12)$$

$$\eta_{муз.шк.} = \left({}^1\eta_{муз.шк.} + {}^2\eta_{муз.шк.} + \dots + {}^z\eta_{муз.шк.} \right) / z, \quad (13)$$

где p, z – соответственно количество детских садов и музыкальных школ в районе.

Если все типы объектов учебно-воспитательного назначения равнозначны, то показатель их доступности объектов будет равен:

$$\eta_{\frac{y}{p-na}} = \frac{\eta_{шк.} + \eta_{д.сад} + \eta_{муз.шк.}}{3}. \quad (14)$$

Аналогично строятся показатели доступности объектов: физкультурного, физкультурно-оздоровительного и спортивно-зрелищного назначения $\eta_{Ф}$, зрелищного, культурно-просветительного назначения η_K , по обслуживанию общества и государства η_O , транспортно-пешеходной инфраструктуры η_H , бытового обслуживания, торговли, питания η_P , здравоохранения η_3 . Показатель доступности объектов в районе:

$$\eta_{p-na} = \frac{\eta_{Ф} + \eta_K + \eta_O + \eta_H + \eta_P + \eta_3 + \eta_y}{7}. \quad (15)$$

Комплексный показатель доступности всех типов объектов для области:

$$\eta_{обл} = \left({}^1\eta_{район} + {}^2\eta_{район} + \dots \right) / \text{число районов}. \quad (16)$$

Таким образом, предложенный обобщенный показатель η является комплексной оценкой доступности маломобильным группам населения городской среды, в частности, общественных зданий и помещений социально-культурного и бытового назначения. Весовые коэффициенты разных уровней выступают в качестве соизмерителей. С помощью показателя η можно проводить как территориальные сравнения, так и рассматривать его изменение во времени.

Обозначим η_0 значение показателя в базисный период (или на территории, определяемой в качестве базисной). Тогда отношение $I = \frac{\eta_1}{\eta_0}$ определяет индекс доступности. Здесь η_1 – показатель, сравниваемый с базисным. Мультиплективная структура индекса позволяет выявлять зависимость η конкретно от каждого фактора: типа учреждения, его структурно-функциональной зоны, зоны целевого назначения и др. Показатель доступности имеет также аддитивную структуру, поэтому он может быть разбит на некоторое множество составляющих, которые представляют самостоятельный интерес.

В качестве примера численной реализации предложенной методики определим показатели доступности для некоторых общественных зданий и сооружений социально-культурного

и бытового назначения Орловской области. В качестве исходной информации для расчета приняты результаты проведенного **мониторинга доступности для МГН общественных зданий и сооружений**, проведенного рабочей группой Архитектурно-строительного института Госуниверситета-УНПК г. Орла в 2012 году по заказу Департамента здравоохранения и социального развития Орловской области. Данный мониторинг явился одним из ключевых мероприятий, запланированных в областной целевой программе «Социальная поддержка инвалидов (доступная среда) на 2012-2014 годы», утвержденной Постановлением Правительства Орловской области от 16 августа 2011 г. №272. Эта программа направлена на формирование условий для беспрепятственного доступа к приоритетным объектам и услугам в жизненно важных сферах жизни.

В результате проведенного мониторинга доступности для МГН общественных зданий и сооружений социально-культурного и бытового назначения [11] определены фактические значения параметров, содержащихся в таблице 1 $a_{(i)j}^\phi = T_{(i)j}^\phi$ (либо $B_{(i)j}^\phi, \dots, C_{(i)j}^\phi$). По предложенной методике получены показатели доступности 508 обследованных зданий и помещений (таблица 3).

Таблица 3 – Показатели доступности некоторых общественных зданий и сооружений социально-культурного и бытового назначения, расположенных в Орловской области*

№	Район	η_K	η_O	η_I	η_3	η_P	η_Y	η_Φ	η_{p-na}
1	г. Орел	0,28	0,23	0,24	0,29	0,29	0,23	0,21	0,25
2	Болховский	0,21	0,3	0,23	0,31	0,21	0,25		0,25
3	Верховский	0,24	0,33		0,28	0,26	0,26		0,27
4	Глазуновский		0,38		0,22	0,26			0,29
5	Дмитровский		0,11		0,29	0,27	0,29		0,24
6	Должанский	0,14	0,23		0,27	0,2	0,19		0,21
7	Залегощенский				0,27		0,25		0,25
8	Знаменский	0,18	0,23		0,22	0,33	0,29		0,24
9	Колпнянский		0,33	0,21	0,26	0,24	0,23		0,25
10	Корсаковский		0,17		0,2		0,27		0,21
11	Краснозоренский	0,29	0,32		0,28	0,24	0,23		0,27
12	Кромской	0,33	0,28		0,27		0,29		0,29
13	Ливенский		0,3	0,24	0,28		0,22		0,26
14	Малоархангельский	0,35	0,23		0,25	0,23	0,24		0,26
15	Мценский	0,34	0,28	0,31	0,31		0,23		0,29
16	Новодеревеньковский	0,25	0,16		0,3		0,22		0,23
17	Новосильский	0,15	0,17		0,25	0,22	0,22		0,25
18	Орловский	0,39	0,25		0,3	0,32	0,28	0,16	0,28
19	Покровский	0,31	0,28		0,26		0,26		0,28
20	Свердловский	0,45	0,3		0,29	0,27	0,27		0,32
21	Сосковский	0,09	0,28		0,25		0,22		0,21
22	Троснянский	0,22	0,37		0,29		0,21		0,27
23	Урицкий	0,29	0,26			0,21	0,31		0,27
24	Хотынецкий	0,33	0,37		0,3		0,24		0,32
25	Шаблыкинский	0,37	0,31		0,3		0,31		0,32
		$\eta_{K_{cp}}$	$\eta_{O_{cp}}$	$\eta_{I_{cp}}$	$\eta_{3_{cp}}$	$\eta_{P_{cp}}$	$\eta_{Y_{cp}}$	$\eta_{\Phi_{cp}}$	$\eta_{обл.}$
		0,27	0,27	0,25	0,27	0,25	0,25	0,19	0,26

Результаты численных исследований, представленные в виде таблицы 3, позволяют отметить, что в среднем показатели доступности МГН обследованных зданий и сооружений Орловской области практически одинаковы для зданий различного назначения и составили по состоянию на сентябрь 2012 г. – (0,25-0,27). Введение в практику регулярных мониторингов

* где $\eta_{K,cp}$, $\eta_{O,cp}$, $\eta_{I,cp}$, $\eta_{3,cp}$, $\eta_{P,cp}$, $\eta_{Y,cp}$, $\eta_{\Phi,cp}$ – средний показатель доступности объектов определенного назначения в каждом районе области; $\eta_{обл.}$ – комплексный показатель доступности всех типов объектов для области.

объектов инфраструктуры позволит отразить изменение показателя доступности в динамике и тем самым сделать выводы о степени эффективности принимаемых управленческих решений.

Предложенная методика, позволяющая количественно оценить уровень доступности зданий, сооружений, их отдельных помещений и зон, выгодно отличается от традиционных подходов к расчету коэффициента доступности, которые определяют этот параметр как долю зданий, доступных для всех инвалидов и других МГН, в общем количестве обследованных объектов [11]. Таким образом, разработанная методика может быть применена в качестве элемента расчетного инструментария при детальном анализе реализуемости функций поселения для маломобильных групп населения с позиций принципов биосферосовместимости и развития человека [12]. Например, результаты расчетов будут полезны при определении времени, предоставляемого городом на удовлетворение потребностей жителей, и тем самым позволят оценить человеческий потенциал и возможности для его увеличения архитектурно-градостроительными методами с учетом ограниченности в передвижениях рассматриваемой группы населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калмет, Х.Ю. Жилая среда для инвалида [Текст] / Х.Ю. Калмет. – М.: Стройиздат, 1990. – 128 с.
2. Крундышев, Б.Л. Архитектурное проектирование жилых зданий, адаптированных к специфическим потребностям маломобильной группы населения: учебное пособие [Текст] / Б.Л. Крундышев. – СПб.: Лань, 2012. – 208 с.
3. Ильичев, В.А. Анализ концепции и нормативных требований к проектированию зданий образовательных учреждений с учетом потребностей маломобильных групп населения в неразрывной связи со «стандартно» здоровыми людьми [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, Е.А. Скобелева // Жилищное строительство, 2013. – №1. – С. 5-9.
4. Сафонов, К.Э. Доступность как градостроительная проблема [Текст] / К.Э. Сафонов. – М.: Academia. – 2009, – №3. – С. 74-77.
5. Сафонов, К.Э. Градостроительные методы формирования безбарьерной среды [Текст] / К.Э. Сафонов. – М.: Academia. – 2011. – №1. – С. 88-91.
6. Наберушкина, Э.К. Доступность городской среды для инвалидов. Социологические исследования [Текст] / Э.К. Наберушкина, 2010. – №9. – С. 58-65.
7. Наберушкина, Э.К. Перспективы создания доступной среды [Текст] / Э.К. Наберушкина: Вестник СГТУ. – 2012. – №1(63). – Вып. 1. – С. 205-209.
8. Семенова, С.А. Комплексная оценка городской среды с учетом потребностей маломобильных групп населения и инвалидов [Текст] / С.А. Семенова, А.А. Шрейбер. – Орел: строительство и реконструкция, 2011. – №5(37). – С. 73-78.
9. Каҳраманова, Ш.Ш. Моделирование в градостроительстве и экологии [Текст] / Ш.Ш. Каҳраманова: Вестник ТГАСУ. – 2012. – №1. – С. 28-40.
10. СП 59.13330.2011 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения [Текст] / Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001. – Разраб АНО «Оргкомитет «Сочи 2014», ОФСОО «РАСС» [и др.]. – Утв. приказом Минрегиона России от 27 декабря 2011 г. № 605. – Введ. 2013-01-01.
11. Проведение мониторинга доступности для инвалидов и других маломобильных групп населения общественных зданий и сооружений социально-культурного и бытового назначения, расположенных на территории г. Орла и Орловской области. [Текст]: отчет о НИР (промежуточный) /рук. Колчунов В.И.; исп.: Данилевич Д.В., Бакаева Н.В. [и др.]. – Департамент здравоохранения и социального развития; Орел: ГУ – УНПК. – 2012.
12. Ильичев, В.А. Может ли город быть биосферосовместимым и развивать человека? [Текст] / Архитектура и строительство Москвы, 2009. – №2. – С. 8-13.

Колчунов Виталий Иванович

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции и материалы»
E-mail: skimkafedra@yandex.ru

Скобелева Елена Анатольевна

Государственный университет – учебно-научно- производственный комплекс г. Орел
Директор Архитектурно-строительного института, кандидат технических наук
E-mail: skobelevaea77@rambler.ru

Брума Екатерина Владимировна

Государственный университет – учебно-научно- производственный комплекс г. Орел
Аспирант кафедры «Строительные конструкции и материалы»

METHODOLOGY OF CALCULATING THE INDEX OF AVAILABILITY OF PUBLIC BUILDINGS AND FACILITIES DISABLED

In this paper, to quantify the degree of accessibility of buildings and facilities with limited mobility is proposed to introduce a comprehensive accessibility of the refractive defined for the basic structural and functional features, target of new areas and elements of the object. The technique of calculation and an example of its implementation.

Keywords: biospheric compatibility, limited mobility groups of population, availability, regulatory requirements, weights, index of availability.

BIBLIOGRAPHY

1. Kalmet, H.Ju. Zhilaja sreda dlja invalida [Tekst] / H.Ju. Kalmet. – M.: Strojizdat, 1990. – 128 s.
2. Krundyshev, B.L. Arhitekturnoe proektirovaniye zhilyh zdanij, adaptirovannyh k specificheskim potrebnostjam malomobil'noj gruppy naselenija: uchebnoe posobie [Tekst] / B.L. Krundyshev. – SPb.: Lan', 2012. – 208 s.
3. Il'ichev, V.A. Analiz koncepcii i normativnyh trebovaniy k proektirovaniyu zdanij obrazovatel'nyh uchrezhdenij s uchetom potrebnostej malomobil'nyh grupp naselenija v nerazryvnoj svyazi so «standartno» zdorovymi ljud'mi [Tekst] / V.A. Il'ichev, V.I. Kolchunov, E.A. Skobeleva // Zhilishchnoe stroitel'stvo, 2013. – №1. – S. 5-9.
4. Safronov, K.Je. Dostupnost' kak gradostroitel'naja problema [Tekst] / K.Je. Safronov. – M.: Academia. – 2009, – №3. – S. 74-77.
5. Safronov, K.Je. Gradostroitel'nye metody formirovaniya bezbar'ernoj sredy [Tekst] / K.Je. Safronov. – M.: Academia. – 2011. – №1. – S. 88-91.
6. Naberushkina, Je.K. Dostupnost' gorodskoj sredy dlja invalidov. Sociologicheskie issledovaniya [Tekst] / Je.K. Naberushkina, 2010. – №9. – S. 58-65.
7. Naberushkina, Je.K. Perspektivy sozdaniya dostupnoj sredy [Tekst] / Je.K. Naberushkina: Vestnik SGTU. – 2012. – №1(63). – Vyp. 1. – S. 205-209.
8. Semenova, S.A. Kompleksnaja ocenka gorodskoj sredy s uchetom potrebnostej malomobil'nyh grupp nasele-nija i invalidov [Tekst] / S.A. Semenova, A.A. Shrejber. – Orel: stroitel'stvo i rekonstrukcija, 2011. – №5(37). – S. 73-78.
9. Kahramanova, Sh.Sh. Modelirovaniye v gradostroitel'stve i jekologii [Tekst] / Sh.Sh. Kahramanova: Vestnik TGASU. – 2012. – №1. – S. 28-40.
10. SP 59.13330.2011 Dostupnost' zdanij i sooruzhenij dlja malomobil'nyh grupp naselenija [Tekst] / Aktual-izirovannaja redakcija SNiP 35-01-2001. – Razrab ANO «Orgkomitet «Sochi 2014»», OFSOO «RASS» [i dr.]. – Utv. prikazom Minregiona Rossii ot 27 dekabrja 2011 g. № 605. – Vved. 2013-01-01.
11. Provedenie monitoringa dostupnosti dlja invalidov i drugih malomobil'nyh grupp naselenija ob-shhestvennyh zdanij i sooruzhenij social'no-kul'turnogo i bytovogo naznachenija, raspolozhennyh na territorii g. Orla i Orlovskoj oblasti. [Tekst]: otchet o NIR (promezhutochnyj) /ruk. Kolchunov V.I.; isp.: Danilevich D.V., Bakaeva N.V. [i dr.]. – Departament zdravoohraneniya i social'nogo razvitiya; Orel: GU – UNPK. – 2012.
12. Il'ichjov, V.A. Mozhet li gorod byt' biosferosovmestimym i razvivat' cheloveka? [Tekst] / Arhitektura i stroitel'stvo Moskvy, 2009. – №2. – S. 8-13.

V. Kolchunov

State university – educational-science-production complex, Orel
Academician RAABS, doctor of technical science, professor, head of department «Building designs and materials»
Ph.: +7(4862) 76-03-72
E-mail: skimkafedra@yandex.ru

E. Skobeleva

State university – educational-science-production complex, Orel
Director of Architectural and engineering institute, candidate of technical sciences, lecturer assistant of department «Construction structures and materials»
E-mail: skobelevaea77@rambler.ru

E. Bruma

State university – educational-science-production complex, Orel
Post-graduate student of department «Construction structures and materials»

УДК 691.3

АКУЛОВА М.В., СЕЛИВЕРСТОВА О.В.

ВЛИЯНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕ-ВОЗДУХОВОВЛЕКАЮЩЕЙ ДОБАВКИ НА СВОЙСТВА ДОРОЖНОЙ ЦЕМЕНТОБЕТОННОЙ СМЕСИ И ПРОЧНОСТЬ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

В статье предложен новый трехкомпонентный состав добавки для дорожного бетона на основе поверхностно-активных веществ с добавлением содосульфатной смеси. Трехкомпонентная добавка, обладающая воздухововлекающим и сильным водоредуцирующим действием, позволяет получать бетоны из малоподвижных и жестких смесей с высокой морозоустойчивостью, а также значительно улучшить физико-механические свойства бетона, такие как истираемость, пределы прочности при сжатии и изгибе.

Ключевые слова: дорожный бетон; добавка; поверхностно-активные вещества; содосульфатная смесь; воздухововлечение; прочность при изгибе; сжатии; морозостойкость; истираемость.

В последнее время проблемам повышения качества обслуживания автомобильных дорог уделяется большое значение. Это относится как к асфальтобетонным, так и цементобетонным покрытиям. При их проектировании в зависимости от категории автомобильной дороги и зоны климатических условий закладываются соответствующие эксплуатационные показатели по долговечности. Но из-за увеличенной интенсивности дорожного движения, транспортных нагрузок, а также низкой стойкости бетона против совместного действия растворов хлористых солей, применяемых для борьбы с гололедом, качество дорожной одежды не отвечает установленным срокам по долговечности: морозостойкости и прочности при изгибе. Известен один из способов повышения эксплуатационных показателей дорожной одежды – применение химических добавок. В частности, согласно ВСН 139-80 «Инструкция по строительству цементобетонных покрытий автомобильных дорог», для дорожной цементобетонной смеси применение пластифицирующего и воздухововлекающего компонента является обязательным условием при ее проектировании и приготовлении. Так, например, применение лигносульфонатов технических ЛСТ позволяет пластифицировать и сохранять длительное время реологические свойства цементобетонной смеси, а применение смолы нейтрализованной воздухововлекающей позволяет бетону выдерживать многократные циклы замораживания и оттаивания в воздушной и водной среде [1].

Целью данного исследования является разработка новой комплексной пластифицирующей воздухововлекающей добавки для дорожной цементобетонной смеси на основе поверхностно-активных веществ с добавлением содосульфатной смеси. Предполагаемый технический результат – увеличение прочности при изгибе, морозостойкости, а также снижение истираемости бетона. В качестве исследуемых компонентов проектируемой добавки были выбраны следующие вещества: суперпластификатор С-3 (продукт конденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида), смола древесная омыленная воздухововлекающая СДО (синтез смолы древесной омыленной на основе экстракционной смолы), содосульфатная смесь ССС (натриевые соли серной и угольной кислоты). Для приготовления цементобетонной дорожной смеси использовали следующие материалы: Мордовский ЦЕМ 1 42,5 Б; нормальная густота цементного теста – 26,0%; содержание в клинкере трехкальциевого алюмината $C_3A = 7,0\%$; гранитный щебень насыпной плотностью 1544 кг/м³ с маркой по дробимости М 1200; фракция 5-20 мм; песок кварцевый насыпной плотностью в сухом состоянии 1670 кг/м³, модуль крупности 2,0.

Требования к бетону для верхнего слоя двухслойного покрытия: класс бетона В30; марка по удобоукладываемости П1; прочность на растяжение при изгибе B_{tb} 3,2; морозостойкость F200.

Установлено [1], что добавка Суперпластификатор С-3 обладает суперпластифицирующим и, соответственно, сильным водоредуцирующим действием. Данное свойство вещества достигается за счет адсорбции частиц на границе раздела фаз: раствор – твердое тело. Частицы цемента, имеющие положительный заряд, полностью обволакиваются молекулами добавки, которые несут на себе отрицательный заряд. В результате одноименной заряженности и электростатического отталкивания частиц снижается вязкость теста, тем самым увеличивается осадка конуса бетонной смеси и ее длительная подвижность.

В таблице 1 приведены показатели бетонной смеси с добавкой. Расход материалов на 1 м³ бетона составил: цемент – 350 кг; песок – 858 кг; щебень – 1100 кг; вода – 140 кг. Дозировка добавки рассчитывалась по сухому веществу от массы цемента.

Как видно из таблицы, при введении в бетонную смесь рабочего 35% раствора добавки суперпластификатор С-3 в дозировке 0,5% от массы цемента осадка конуса увеличилась по сравнению с контрольным составом на 20 см, и прочность во все сутки нормального твердения превышает прочность контрольного образца, о чем говорит эффективность действия данного продукта.

Таблица 1 – Свойства дорожного бетона

Название	Дозировка, %	В/Ц	ОК, см	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа в возрасте, сут			
					1	3	7	28
Эталон	-	0,4	2,0	2440	11,2	22,1	32,0	40,0
С-3	0,5	0,4	22	2475	11,7	22,9	35,6	46,8

Для дорожных и аэродромных покрытий объем вовлеченного воздуха в подвижной бетонной смеси для верхнего слоя двухслойного покрытия не должен быть менее 5%, так как за счет закрытых гелевых пор в теле бетона и минимального расстояния между ними повышается стойкость бетона против многократного замораживания и оттаивания, то есть увеличивается его морозостойкость. Одним из таких воздухововлекающих компонентов является смола древесная омыленная (СДО).

Исследуя бетонную смесь с содержанием в ней компонента смолы древесной омыленной СДО, была выявлена следующая закономерность: с увеличением дозировки данного продукта увеличивается пластификация и воздухосодержание бетонной смеси. Бетонная смесь становится более легкая и удобоукладываемая. Реологические свойства бетонной смеси представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Реологические свойства бетонной смеси с воздухововлекающей добавкой СДО

Название	В/Ц	Дозировка, %	Осадка конуса, см.	Воздух в бетонной смеси %	Плотность, кг/м ³	Воздух через . 60 мин., %	Осадка конуса, см, через 60 мин.	Плотность кг/м ³ , через 60 мин.
эталон	0,4	-	2,0	3,4	2415	0	0	2455
СДО	0,4	0,05	4,0	6,1	2265	3,9	1,0	2320
СДО	0,4	0,1	7,5	9,3	2190	6,3	2,0	2245

Как видно из таблицы, оптимальной дозировкой исследуемой воздухововлекающей добавки является дозировка 0,05% от массы цемента в пересчете на сухое вещество. Рабочая концентрация данного продукта – 35%.

При дозировке 0,1% воздухосодержание бетонной смеси составило 9,3%, при этом осадка конуса вышла на уровень подвижности П-2, а через 60 мин. данные показатели стали

соответствовать требуемым значениям для укладки бетонной смеси в дорожное полотно: воздухосодержание на уровне 7%, марка по удобоукладываемости П1.

График зависимости содержания воздуха в бетонной смеси от дозировки добавки представлен на рисунке 1.

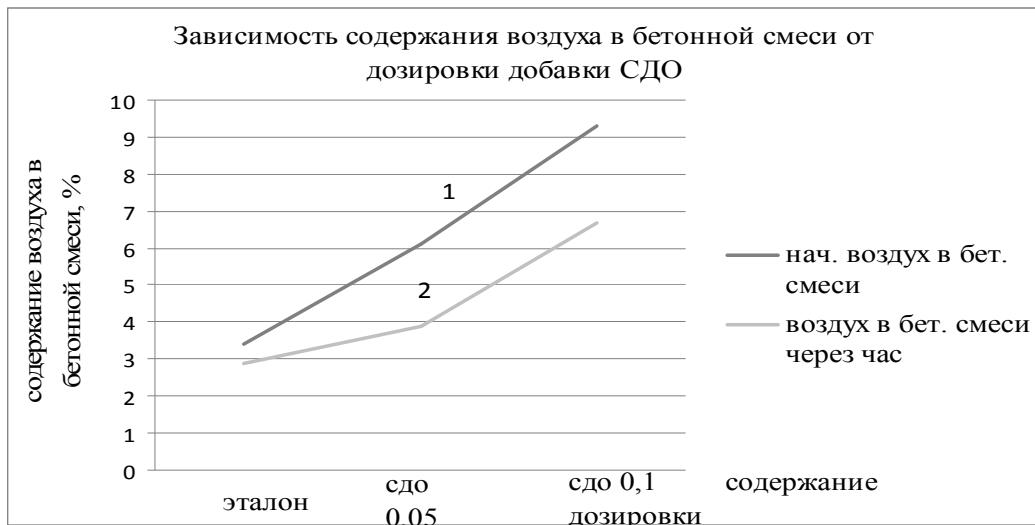


Рисунок 1 – Зависимость содержания воздуха в бетонной смеси от дозировки добавки:
 1 – начальный воздух в бетонной смеси после ее приготовления;
 2 – содержание воздуха в бетонной смеси через 1 час

При проектировании комплексной добавки было установлено опытном путем, что для получения пластифицирующего и воздухововлекающего эффекта в бетонной смеси с объемом воздуха не менее 5% и маркой по удобоукладываемости П1 необходимо к 90% добавки суперпластификатор С-3 добавить 10% воздухововлекающего вещества – смолы древесной омыленной СДО (рабочая концентрация 35%) с учетом водоредуцирующего действия. Таким образом, получаем двухкомпонентную комплексную добавку суперпластификатор С-3 – 90% и СДО – 10%. Добавка вводилась в бетонную смесь при $B/C = 0,4$ в дозировке 0,5% от массы цемента по сухому веществу. Рабочая концентрация добавки – 35,0%. Свойства полученной бетонной смеси представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Свойства бетонной смеси с комплексной двухкомпонентной добавкой

Название	Начальные показатели бетонной смеси		Показатели бетонной смеси через 1 час		Прочность бетона МПа, в возрасте	
	осадка конуса, см	воздухововлечение, %	осадка конуса, см	воздухововлечение, %	7 сут.	28 сут.
Эталон	2,0	3,4	0	0	31,4	44,7
С-3 +СДО	19,5	12,6	3,5	7,2	29,3	38,6

Как видно из таблицы, наблюдается спад прочностных показателей с комплексной добавкой во все сроки твердения. Уменьшение прочности бетона является следствием введения воздухововлекающего компонента. Установлено [2], что 1% содержания воздуха в бетонной смеси ведет к снижению прочности бетона примерно на 5%. По реологическим свойствам проектируемый состав добавки показал свою эффективность: пластификация бетонной смеси вышла на уровень П-4, содержание воздуха в бетонной смеси – 12,6%. Такие показатели в дальнейшем позволяют произвести водоредуцирование бетонной смеси до заданной подвижности П-1, за счет чего может повыситься прочность бетона и уменьшиться содержание воздуха в бетонной смеси до требуемого значения – 5-6%. При дальнейшем проектировании ком-

плексной добавки и определения состава бетонной смеси необходимо так же учитывать такие важные показатели, как истираемость бетона и прочность при изгибе, которые зависят в первую очередь, от качества инертных материалов, а именно, крупного заполнителя. Исследуя свойства содосульфатной смеси в бетонной смеси, была выявлена устойчивая тенденция повышения прочности бетона во все сроки твердения относительно контрольного состава, а также отмечена небольшая пластифицирующая способность (марка по удобоукладываемости П-2 при дозировке 0,8% от массы цемента) данного вещества относительно контрольного состава. Наблюдалась хорошая удобоукладываемость, структура тела бетона была с минимальным содержанием открытых пор, что позволяет сделать вывод о его более уплотненной структуре, чем с добавкой суперпластификатор С-3, а также уменьшить истираемость бетона. На рисунке 2 представлен график прочности образцов бетона с добавкой содосульфатной смесью ССС.

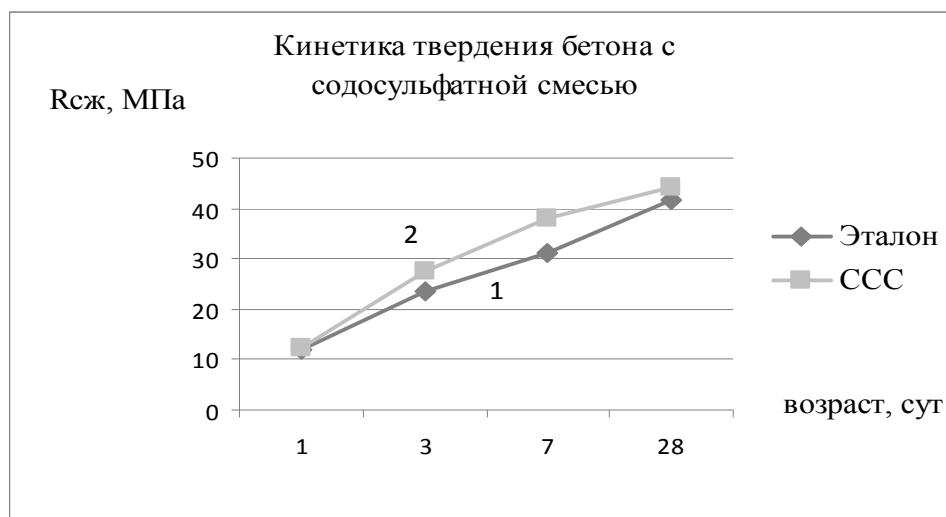


Рисунок 2 – График прочности образцов бетона: 1 – контрольный образец без добавки; 2 – образец бетона с содосульфатной смесью ССС

Проанализировав реологические свойства содосульфатной смеси и изучив кинетику твердения образцов бетона с исследуемым компонентом, можно спроектировать окончательный состав добавки, нацеленный на повышение таких показателей в дорожном бетоне, как: 1- получение воздуха в бетоне на уровне 6-7% при марке по подвижности П-1; 2 – прочности при сжатии; 3 – морозостойкости; 4 – прочности на растяжение при изгибе; 5 – истираемости. Спроектируемый трехкомпонентный состав добавки имеет следующее соотношение исследуемых веществ: суперпластификатор С-3 – 60%; содосульфатная смесь ССС – 30%; смола древесная омыленная СДО – 10%. Эффективность действия данного состава представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Свойства дорожной бетонной смеси с проектируемой трехкомпонентной добавкой

Название	В/Ц	Дозировка, %	Нач.показатели бетонной смеси		Показатели бетонной смеси через 40 мин.		Прочность $R_{сж}$, МПа		Факт. класс бетона
			осадка конуса, см	воздух, %	осадка конуса, см	воздух, %	7 сут	28 сут	
эталон	0,4	-	2,0	3,4	0	0	30,4	40,3	В 30
добавка	0,34	0,5	8,0	9,4	3,0	6,2	34,2	46,7	В 35

Добавка вводилась в бетонную смесь со второй частью воды затворения в виде рабочего раствора с концентрацией 35,0%. Фактический класс бетона соответствует В35. Физико-механические испытания бетона с добавкой на морозостойкость, истираемость и прочность при изгибе проводились согласно научно – технической документации. Данный спроектиро-

ванный состав превысил показатели относительно контрольного состава и имеет следующие значения, представленные в таблице 5.

Таблица 5 – Физико-механические свойства бетона с трехкомпонентной добавкой

Название	Прочность $R_{изг}$, кгс/см ²	Фактический класс бетона при изгибе	Морозостойкость, F200	Истираемость, г/см ²
			потеря прочности, %	
эталон	46,8	B _{tb} 3,6	3,1	0,8
добавка	48,7	B _{tb} 3,6	1,6	0,6

Как видно из данных, приведенных в таблице 5, потеря прочности бетона с добавкой при испытании на морозостойкость в 2 раза меньше, что говорит о значительном запасе прочностных характеристик и, соответственно, об увеличении марки по морозостойкости. Показатели по истираемости образцов бетона с добавкой также превышают контрольный состав без добавки.

Таким образом, спроектированный трехкомпонентный состав добавки позволяет решить целый комплекс задач: создать поровую структуру тела бетона с правильно организованным воздухововлечением; получить бетоны с высокой морозостойкостью, прочностью при изгибе и истираемостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика [Текст] / В.Г. Батраков. – М: 1998. – 211 с.
2. Баженов Ю.М. Технология бетона [Текст] / Ю.М. Баженов. – М: АСВ, 2002. – 154 с.
3. Изотов, В.С. Химические добавки для модификации бетона. Монография [Текст] / В.С. Изотов, Ю.А. Соколова. – М.: Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – Казань: Палеотип, 2006 – 120 с.

М.В. Акулова

Ивановский государственный архитектурно-строительный университет, г. Иваново

Доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Производство строительных материалов, изделий и конструкций»

E-mail: m_akulova@mail.ru

О.В. Селиверстова

Ивановский государственный архитектурно-строительный университет, г. Иваново

Аспирант

Тел.: +7 904 034 00 08

E-mail: tds_tp@mail.ru

M. AKULOVA, O. SELIVYORSTOVA

DESIGN AND INFLUENCE OF COMPLEX AIR-ENTRAINING PLASTICIZER ON THE PROPERTIES OF ROAD CEMENT CONCRETE MIX AND DURABILITY OF HEAVY CONCRETE

The article reviews a new three-component composition of additive for road concrete based on surface-active substances with soda-sulphate admixture. A three-component additive with air-entraining and water-reducing effect allows to make from hard and inactive compounds concretes with high frost resistance, as well as improve significantly such mechanical properties of concrete as abrasion strength, ultimate compressive and bending strength.

Keywords: road concrete; additive; surface-active substances; soda-sulphate mix; air entrainment; bending strength; compressive strength; frost resistance; abrasion strength.

BIBLIOGRAPHY

1. Batrakov, V.G. Modificirovannye betony. Teorija i praktika [Tekst] / V.G. Batrakov. – M: 1998. – 211 s.
2. Bazhenov Ju.M. Tehnologija betona [Tekst] / Ju.M. Bazhenov. – M: ASV, 2002. – 154 s.
3. Izotov, V.S. Himicheskie dobavki dlja modifikacii betona. Monografija [Tekst] / V.S. Izotov, Ju.A. Sokolova. – M.: Kazanskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet. – Kazan': Paleotip, 2006 – 120 s.

M. Akulova

Ivanovo state university of architecture and building, Ivanovo

Doctor of technical science, professor, head of department «Production of building materials, products and designs»

E-mail: m_akulova@mail.ru

O. Selivyorstova

Ivanovo state university of architecture and building, Ivanovo

Post graduate student

Ph.: +7 904 034 00 08

E-mail: tds_tp@mail.ru

СОЛОМЕНЦЕВ А.Б., БАРАНОВ И.А.

СТРУКТУРА ДОРОЖНОГО БИТУМА И ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СО СТАБИЛИЗИРУЮЩИМИ ВОЛОКНИСТЫМИ ДОБАВКАМИ ДЛЯ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА

На основании анализа литературных источников по структуре, строению и взаимодействиям в битуме, в целлюлозных и хризотил-асбестовых волокнах предложены механизмы взаимодействия целлюлозных и хризотил-асбестовых волокон с дорожным битумом в щебеночно-масличных асфальтобетонных смесях.

Ключевые слова: стабилизирующие добавки; целлюлоза; битум; сложные структурные единицы; хризотил-асбест.

Для рассмотрения взаимодействия с битумом волокнистых целлюлозных добавок Viatop 66, ANTROCEL, TOPCEL, СД-1 и т.д. и волокнистой минеральной хризотил-асбестовой добавки ХРИЗОТОП рассмотрим структуру, строение и взаимодействия в битуме, а также структуру, строение и взаимодействия в целлюлозных и хризотил-асбестовых волокнах.

В монографии [1] Макк указывает, что Нелленштейн (1924) предложил теорию коллоидного строения битумов, основанную на наличии в них трех компонентов: лиофобной части, лиофильных частиц, окружающих лиофобные частицы и защищающие их от слияния, и, наконец, масляной фазы, в которой суспензированы мицеллы. Стабильность этой системы зависит от межфазных сил, возникающих на поверхности раздела мицелл с масляной средой. Поэтому, когда в битуме происходит флокуляция частиц, например, при добавлении некоторых растворителей, новая фаза не образуется, а лиофобные частицы агрегируются в более крупные в результате растворения защитного вещества и изменения сил межфазного натяжения.

В работе [2] авторы указывают, что в представлениях о структуре битумов, предложенных Нелленштейном (1933) и развитых в ряде работ, битум рассматривается как коллоидная система мицеллярного строения с находящимся в углеводородной среде ядром из асфальтенов, стабилизированных адсорбированным слоем смол. При этом основным структурообразующим элементом являются асфальтены, связывающие малые молекулы ароматических углеводородов, набухая и частично растворяясь в них. Чем длиннее и многочисленнее у асфальтенов боковые цепи, тем больше молекул углеводородов они способны удержать и тем больше размер мицеллы.

В монографии [3] Поконова подчеркивает, что асфальтены в нефтях и в нефтяных остатках могут находиться либо в коллоидно-диспергированном состоянии (во взвешенном виде или в виде выпавшей фазы), либо образовывать истинные растворы. Фазовые состояния, в которых находятся асфальтены, будут определяться природой нефти, количеством смолисто-асфальтеновых веществ, температурной системы (Макк, 1974). В высокоароматизированной углеводородной среде при небольшой концентрации асфальтенов сравнительно невысокой молекулярной массы образуется истинный раствор. Увеличение молекулярной массы и концентрации, снижение температуры и ароматичности дисперсионной среды приводят к появлению ассоциатов, и образуется термодинамически неустойчивая лиофобная система. Образуют ли выделившиеся асфальтены дисперсную фазу и коллоидный раствор или, агрегируясь, образуют самостоятельную псевдофазу (Рогачева, 1979) будет зависеть от концентрации и растворяющей способности смол, вязкости среды (Биккулов, 1979). Смолистые фракции, играя роль поверхностно-активных веществ, образуют в ассоциате сольватный слой, так как они ориентированы к асфальтеновому ассоциату полярными фрагментами, а углеводородными – к дисперсионной среде. Они представляют собой барьер, препятствующий укрупнению частиц. Устойчивость таких систем будет определяться толщиной сольватной оболочки.

Исходя из исследования поверхностей активности асфальтенов (Рогачева 1979, 1980) в интервале 20-150°C была найдена критическая концентрация мицеллообразования (ККМ) в групповых компонентах соответствующих нефтяных остатках. Показано, что истинные растворы получаются при массовом содержании асфальтенов 0,005-0,6%. Более концентрированные растворы, образуют гетерогенные дисперсные системы. При дальнейшем концентрировании образуются первичные надмолекулярные образования, и затем асфальтены выделяются в отдельную фазу. Частицы асфальтенов в коллоидных системах имеют размеры 2-30 нм и образуют коацерваты размером 2 мк. Устойчивость этих коллоидных систем против расслоения определяется толщиной сольватной оболочки, образованной из адсорбированных молекул смол, представляющих собой структурно-механический барьер, препятствующий ассоциации.

Поконова отмечает также [3], что асфальтены – вещества, имеющие различные фрагменты, отличающиеся друг от друга электронной неоднородностью. Каждый участок может характеризоваться средними значениями потенциала ионизации и сродства к электрону. Поэтому в такой системе создаются благоприятные условия для образования комплексов с переносом заряда, в которых один участок или одна молекула является донором, другая – акцептором. Электростатические взаимодействия в асфальтенах видны из такого факта: в ионном растворителе (смесь пиридин-уксусная кислота) перемещение частиц асфальтенов происходит и по направлению к катоду и к аноду, в неионном растворителе частицы асфальтенов перемещаются только к катоду. Существенный вклад в межмолекулярное взаимодействие вносят функциональные группы, связанные водородными связями. О влиянии водородной связи можно судить по таким данным: при метилировании, силилировании, ацетилировании молекулярная масса асфальтенов уменьшается от 5920 до 2950 или 3200 соответственно. Это говорит о наличии межмолекулярной водородной связи.

Наиболее общий вид взаимодействия – дисперсионное, которое проявляется между неполярными фрагментами асфальтеновых молекул и относится к силам, действующим на расстояние 0,3-0,4 нм. Все перечисленные виды взаимодействий могут проявляться только при наличии дальнодействующих сил, заставляющих сближаться асфальтеновые пластины. К их числу относятся: 1) π -взаимодействие ареновых фрагментов асфальтенов и смоляных молекул, совместно формирующих блочную структуру; 2) радикальное взаимодействие между двумя неспаренными электронами, а так же за счет радикала и системы π -электронов соседних молекул асфальтенов и, в меньшей степени, смол. Неспаренные электроны ассоциированы с делокализованными π -электронами конденсированной ароматической системы (Yen, Dickie, 1968); 3) взаимодействие за счет водородных связей между гетероатомами и водородами соседних атомов.

Бодан в работе [4] делает вывод, что битумы и их компоненты (кроме углеводородов) полидисперсны, а надмолекулярные строения битумов, смол и асфальтенов подобны. Обработка рентгенограмм показала, что битумы, смолы и асфальтены относятся к аморфным веществам «газообразного типа» с квазисферическими частицами. Механизм структурообразования в битуках, смолах и асфальтенах, очевидно идентичен. Пачечные структуры, представляющие собой концентраты кольчатных структур без приферийных фрагментов, при увеличении фактора ароматичности также стремятся к сферической форме.

В результате анализа малоугольных рентгенограмм Боданом были установлены некоторые закономерности образования надмолекулярного строения битумов. Размеры первичных частиц исследуемых битумов различаются незначительно и коррелируются с размерами фрагментов молекулярной структуры – пачечных структур исследуемых битумов. Количество этих частиц на 4-7 порядков больше количества частиц следующих размеров, т.е. они являются основой всей системы. Предпочтительный размер более крупных неоднородностей кратен размеру первичных частиц и составляет 6,5-17,5 нм. Эти частицы по размерам можно отнести к мономер-мицеллам, так как они значительно отличаются агрегативной устойчивостью от еще более крупных частиц: при нагревании битумов до 160°C количество их не изменяется. Последующие размеры неоднородности надмолекулярной структуры битумов кратны размерам мономер – мицелл, из которых они образуются. При увеличении размеров надмолекулярных

структур возрастает не молекулярная масса соединений, а межмолекулярное взаимодействие, что и приводит к образованию более крупных агрегированных структур.

В работе [4] предложена также динамическая поликвазисферическая модель битумной структуры. Согласно этой модели первичные частицы (молекулярные) располагаются в соответствии с энергией их взаимодействия. В центре ядра взаимное перемещение частиц не велико, но по мере удаления от него их кинетическая энергия увеличивается в соответствии с уменьшением энергии межчастичного взаимодействия, поэтому размеры таких структур условны.

При высоких температурах, применении растворителей или незначительном содержании частиц с большим межмолекулярным взаимодействием надмолекулярные структуры могут свободно перемещаться, не создавая структурного каркаса. В этом случае агрегированные структуры условно можно рассматривать как «макромолекулы» в растворе низкомолекулярного растворителя.

При низких температурах или высоких концентрациях частиц со значительным межмолекулярным взаимодействием размеры надмолекулярных структур увеличиваются и происходит перекрытие их сфер, что приводит к образованию структурного каркаса. В зависимости от объема перекрытия битум обладает различными физико-химическими свойствами.

Сюняев в монографии [5] отмечает, что формирующиеся в нефтяной системе из высокомолекулярных систем надмолекулярные структуры обладают интересными свойствами, отличными от свойств неструктурированных жидкостей и твердых тел больших размеров: а) величина объемной энергии (когезии) в надмолекулярной структуре соизмерима или равна в экстремальном состоянии поверхностной её энергии; б) равенство объемной и поверхностной энергии достигается для возникшей простейшей структурной единицы, которая обладает специфическими свойствами (минимальной структурной прочностью и максимальной кинетической устойчивостью); в) различные соотношения объемной и поверхностной энергии в надмолекулярной структуре в моменты возникновения и предельного роста зародыша могут быть оптимальными для осуществления ряда технологических процессов.

Надмолекулярные структуры обладают способностью под действием внешних факторов изменять степень своей дисперсности. Такое наименьшее количество массы надмолекулярной структуры, которое способно к самостоятельному существованию, получило название простейшей (первичной) структурной единицы или зародыша.

Поскольку зародыши обладают избыточной поверхностной энергией, вокруг них образуются сольватные оболочки определенной толщины. Зародыши под действием внешних факторов могут разрушаться (формируются молекулярные растворы) или расти (формируются вторичные сложные структурные единицы – ССЕ).

Вторичные сложные структурные единицы отличаются от зародыша тем, что в них по мере регулирования межмолекулярного взаимодействия среды изменяется отношение объемной энергии к поверхностной, что приводит к изменению как диаметра надмолекулярной структуры, так и толщины сольватной оболочки, а также степени упорядочения молекул в ассоциате. Таким образом, в реальных нефтяных дисперсных системах ССЕ могут находиться в виде зародыша (частный случай) и чаще всего в виде сложных структурных единиц различной степени дисперсности.

Модель строения и свойства ССЕ зависит от типа надмолекулярной структуры (асфальтеновой, парафиновой и т.д.) и для физических ассоциатов и химических комплексов являются неодинаковыми.

Основой модели ССЕ являются ассоциат или комплекс, обладающий неодинаковой прочностью связей внутри этих видов надмолекулярных структур, а также при одинаковой степени дисперсности разной поверхностной энергией.

В результате контакта ассоциата или комплекса с дисперсионной средой формируется ССЕ с полностью компенсированной поверхностной энергией и обладающая определенными физико-химическими свойствами.

ССЕ могут иметь постоянные свойства только в дисперсионной среде определенного состава и при сохранении постоянным воздействия внешних факторов. В результате измене-

ния энергетических характеристик (например, при воздействии температуры) в ССЕ возможны химические и физические превращения.

Сюняев подчеркивает [5], что в соответствии с предложенной моделью структуры нефти и нефтяных остатков структурированные нефть и нефтепродукты представляют собой надмолекулярные структуры, окруженные сольватной оболочкой, за пределами которой находятся соединения в молекулярном состоянии. Формирование и разрушение ССЕ (физический и физико-химический процесс) осуществляется (плохой растворитель) промежуточными активными сложными структурными единицами, обладающими некомпенсированной поверхностной энергией (аналогично свободным радикалам, ведущим химический процесс).

Наполненные нефтяные дисперсные системы [5] могут быть получены на базе неструктурных систем введением специальных наполнителей в регулируемом количестве и необходимого качества. Наполнителями таких систем могут служить извлеченные из нефти и продуктов ее переработки надмолекулярные структуры (асфальтены, полициклическая ароматика, мезофаза, парафины, карбены, карбоиды). Для этой цели в некоторых случаях могут использоваться и наполнители не нефтяного происхождения (способ получения композиционных материалов).

В работе [5] указывается, что сольватная оболочка характеризуется пониженным значением молекулярной массы, высокой концентрацией сильнополярных компонентов типа нефтяных кислот и малой концентрацией парамагнитных молекул по сравнению с ядром. Внешними воздействиями (смешением нефтий различной природы, добавками поверхностно-активных или инактивных веществ, изменением pH-среды, воздействием различных полей: тепловых, механических, акустических, электромагнитных, ультразвуковых; изменением скоростей нагревания и охлаждения и др.) представляется возможным в значительных пределах изменять средние размеры ССЕ в нефтяных дисперсных системах.

В работе [6] с использованием метода малоуглового слияния рентгеновских лучей установлено, что неокисленные битумы содержат 85-86% мелких коллоидных образований с размерами частиц 0,9-1,0 нм и 12-13% крупных коллоидных частиц с размером 40,5-41,5 нм. Окисленный битум дает другое распределение, а именно: 30-31% частиц с размерами до 1,6 нм и 69-70% крупных коллоидных частиц с размерами до 44,0 нм.

Целлюлоза [7] – полисахарид $[C_6H_{70}(OH)_3]_n$, один из самых распространенных природных полимеров, главная составляющая клеточных стенок высших растений. Техническая целлюлоза – волокнистый полуфабрикат, получаемый в промышленности более или менее полной очисткой волокон растительных тканей от нецеллюлозных компонентов.

Межмолекулярное взаимодействие в целлюлозе осуществляется как физическими силами с малой энергией взаимодействия (напр., вандерваальсовыми), так и водородными связями. Возможность разрыва и повторного образования последних обуславливает ряд важных свойств целлюлозных материалов, в частности возможность получения из них бумаги. В сухой целлюлозе практически все OH-группы участвуют в образовании водородных связей. Первичный элемент надмолекулярной структуры целлюлозы микрофибрилла толщиной 35-100 Å, длиной 500-600 Å и выше, имеющая обычно форму спирали. В состав микрофибрилл входит несколько сотен макромолекул. Микрофибриллы образуют агрегаты размером 300x1500 Å, расположенные в виде спиралей, образующих слои клеточной стенки древесины или волокон хлопка.

В работе [8] отмечается, что общепринятой в настоящее время является модель элементарной фибриллы Денниса и Престона [Dennis, Preston, 1961], представленная на рисунке 1. В соответствии с этой моделью молекулярные цепи целлюлозы образуют кристаллическое ядро с высокой степенью упорядоченности. В области, непосредственно прилегающей к ядру, степень упорядоченности макромолекулярных цепей существенно уменьшается. Здесь же, наряду с полиглюкозидными цепями, могут находиться макромолекулы, состоящие из других моносахаридов. В реальных условиях элементарные фибриллы всегда ассоциированы в агрегаты из достаточно большого числа элементарных фибрилл, составляющих микрофибриллы.

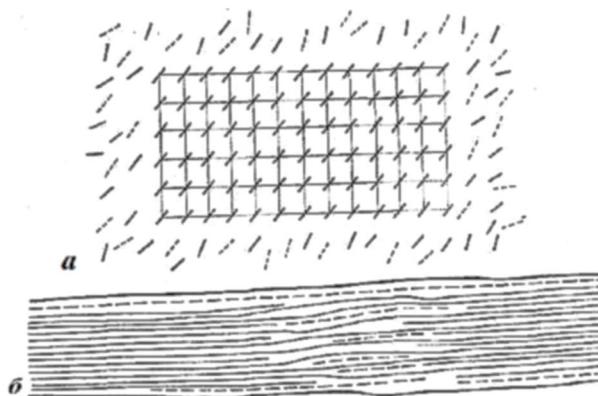


Рисунок 1 – Схема модели элементарной фибриллы природной целлюлозы:
а – поперечное сечение, наклонные прямые линии обозначают положение макромолекул состоящих из других моносахаридов. В центре – кристаллическое ядро элементарной фибриллы;
б – продольное сечение элементарной фибриллы; пунктир – положение макромолекул из неглюкозидных остатков [8]

Фенглер и Вегенер в работе [9] констатируют, что результаты рентгенографических исследований, опытов деградации целлюлозы, электронно-микроскопических наблюдений и других исследований привели к ряду концепций относительно расположения молекул целлюлозы в фибриллярных элементах. Общее для всех моделей, описанных в литературе, – существование упорядоченных участков, образованных продольно идущими цепями с параллельной или антипараллельной ориентацией. Эти модели, таким образом, различаются в основном представлением о строении менее упорядоченных участков. Все модели можно свести к трем основным принципам (рис. 2):

- продольно расположенные молекулы переходят из одного упорядоченного участка в другой, образуя менее упорядоченные зоны (система «бахромчатых» мицелл) (рис. 2, a_1 , a_2);
- фибриллярные элементы представляют собой отдельные нити, состоящие из продольно расположенных молекул с чередованием упорядоченных и неупорядоченных участков (рис. 2, b_1 , b_2);

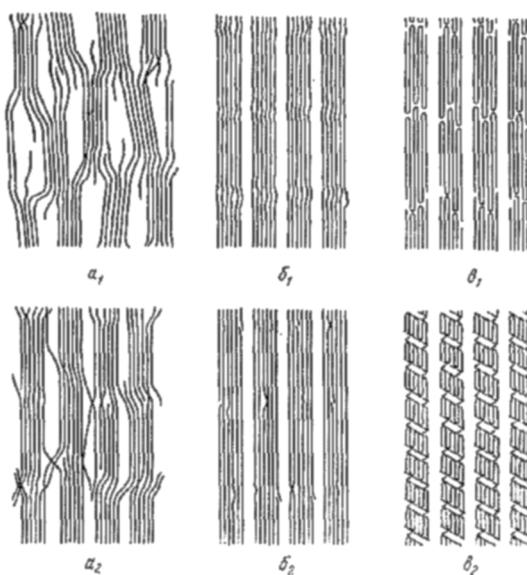


Рисунок 2 – Основные модели структуры целлюлозных фибрилл (a_1 , b_1 , b_3) и их варианты (a_2 , b_2 , b_3) [9]

- упорядоченные участки представляют собой пачки цепей, складывающихся в продольном направлении, причем области поворота цепей (складок) образуют менее упорядоченные участки (рис. 2, a_1 , a_2).

В соответствии со структурной концепцией бахромчатых мицелл цепи целлюлозы могут идти как в параллельном, так и в антипараллельном направлении. Если учесть результаты электронно-микроскопических наблюдений, следует принять модель, представленную на рисунке 2, *a₂*. Преимуществом этой модели является возможность простого объяснения колебаний диаметра фибрилл.

Петропавловский в работе [10] указывает, что слоистость и фибриллярное строение волокна целлюлозы лучше всего наблюдаются после его обработки жидкостями, вызывающими набухание. Так, например, если подвергнуть целлюлозу набуханию в воде, а затем механическому размолу, то наблюдается в основном продольное расщепление волокон на нитевидные пучки, т. е. явно выраженное фибриллирование. Если целлюлоза не набухла, то механический размол (в неводных средах) приводит не к фибриллированию, а только к хрупкому разрушению волокна [7]. То, что набухшая целлюлоза распадается на пучки при размоле, говорит о неравноценности связей внутри волокна, о его макро- и микрогетерогенности. Набухание – процесс, приводящий к разрушению слабых связей, к выявлению скрытой гетерогенности системы. В то же время набухание увеличивает пластичность целлюлозного волокна в целом, так как ослабляет внутри него межмолекулярное взаимодействие. Это позволяет произвести сдвиг элементов структуры волокна по плоскостям наиболее слабых связей. При гидролизе разбавленными кислотами, реакция деструкции совершенно четко разделяется на две кинетические стадии – быструю и медленную. Остаток от гидролиза представляет собой распавшиеся на части волокна целлюлозы, имеющие «предельную» степень полимеризации, которые в определенных условиях диспергируются в воде и при рассмотрении в электронном микроскопе имеют вид анизодиаметрических частиц типа иголок, обычно собранных в поле зрения в агрегаты (пучки).

Батисте (1962, 1965)[10] ввел термин «микрокристаллическая целлюлоза» (МКЦ) для обозначения гидролизованной до «предельной» степени полимеризации целлюлозы, диспергируемой в воде до указанных анизодиаметрических частиц.

В [10] так же отмечается, что рядом исследователей было показано, что гидролизованная до «предельной» степени полимеризации целлюлоза под действием высоких сдвиговых напряжений в воде способна диспергироваться с образованием гелеобразных дисперсных систем, содержащих удлиненные частицы. В концентрированных дисперсионных системах имеет место сильное взаимодействие между частицами целлюлозы, поэтому «связывание» молекул воды осуществляется агрегатами частиц.

МКЦ может также диспергироваться в неводных жидкых средах: спиртах, глицерине, касторовом масле. Дифференциальные кривые распределения частиц диспергированной микрокристаллической целлюлозы показывают, что наибольшей диспергирующей способностью обладает вода, причем распределение частиц по размерам является узким. В этиловом спирте распределение также является статистически узким. При диспергировании в негидроксилодержащей жидкости (касторовое масло) размеры частиц различны, распределение широкое. Таким образом, характерными особенностями микрокристаллической целлюлозы являются гетерогенное распределение частиц по размерам и способность при диспергировании в гидроксилодержащих средах образовывать статистически однородный набор частиц с узким распределением по размерам.

В работе [9] также отмечается, что проникновение воды в структуру целлюлозы приводит к ее набуханию. Другие растворители также могут адсорбироваться и связываться Н-связями с целлюлозой, например диметилсульфоксид (SO_2 – группы) и пиридин (NH-группы). Такие растворители приводят к набуханию, зависящему от температуры. Растворители иного типа, такие, как диоксан, бензол, не могут связываться Н-связями. Эти растворители только оказываются инклюидированными в структуре целлюлозы и вызывают набухание, не зависящее от температуры (Chitumbo, Brown, 1974; Richter, Herdle, Wahtera, 1957). Присутствие неполярных растворителей в целлюлозе при ее последующей сушке препятствует образованию межмолекулярных Н-связей. Такие растворители, как циклогексан, бензол, нельзя полностью удалить сушкой даже в высоком вакууме. Полагают, что молекулы таких растворителей «за-

клиниваются» между поверхностями целлюлозы (Richter, Herdle, Wahtera, 1957; Staudinger, Birken, 1953). Целлюлоза, содержащая остатки неполярного растворителя, имеет высокую реакционную способность, например, легко ацетилируется.

Процесс структурообразования и взаимодействий в наполненной битумной системе «дорожный битум – целлюлозные волокна» можно представить следующим образом. При температуре 140-160°C дорожный битум (например БНД 60/90) представляет собой ньютоновскую жидкость, значения динамической вязкости составляют 0,2-0,5 Па⁰с. Размеры ССЕ и сольватных оболочек минимальны. При введении в расплавленный битум целлюлозных волокон начинают происходить процессы смачивания их поверхности компонентами битума. При механическом перемешивании битум растекается по поверхности волокон, межволоконные водородные Н-связи разрываются, волокна перестают контактировать друг с другом и распределяются в битумной среде.

В первые 3-5 минут процесса структурообразования при содержании волокон в системе в количестве 15-20% их присутствие визуально незаметно. Через 15-20 минут можно заметить, что начинает происходить «обезмасливание» системы. Битумоцеллюлозная смесь начинает заустевать и приобретать гелеподобную структуру, которая по внешнему виду напоминает кашеподобную массу с черным блеском, что свидетельствует об интенсивно проходящем процессе набухания целлюлозных волокон.

В результате теплового и механического воздействия и межмолекулярных взаимодействий с компонентами битумной системы начинают ослабевать связи между агрегатами микрофибрилл размерами 30×150 нм расположеными в виде спиралей. В результате расклинивающего действия углеводородных компонентов битумной дисперсионной среды и проникания этих компонентов, а также молекул смол и далее промежуточных ССЕ в межфибриллярное пространство, расстояние между микрофибриллами в агрегатах увеличивается, часть микрофибрилл толщиной 3,5-10,0 нм и длиной 50-60 нм оказываются полностью окружены битумной дисперсионной средой. Под влиянием поверхностных сил агрегатов микрофибрилл на их поверхности адсорбируются промежуточные ССЕ, происходит изменение группового состава битумной дисперсионной среды: количество углеводородных компонентов и смол уменьшается, а ССЕ увеличиваются. Межмолекулярное взаимодействие между микрофибриллами и крупными ССЕ приводит к появлению агрегатов микрофибрилл и ССЕ. Образуется гелеподобная подвижная высококонцентрированная битумоцеллюлозная дисперсная система.

Рассмотрим далее взаимодействие минеральной волокнистой добавки Хризотоп с битумом. Добавку Хризотоп получают измельчением хризотил-асбеста, который входит в группу серпентина – $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ [11], является природной разновидностью гидросиликатов, легко расщепляющихся на тонкие (до 0,5 мкм) прочные волокна. Наиболее распространены хризотил-асбесты ($Mg, Fe)_6[Si_4O_{10}] (OH)_8$ [12]. Химический состав (мас. %): MgO – 43,0, SiO₂ – 44,1, H₂O – 12,9. В структурном отношении волокна хризотил-асбеста представляют собой тончайшие полые цилиндры, «свернутые» из листов кремнекислородных тетраэдров. Внешний диаметр таких цилиндров 20-30 нм, внутренний 8-10 нм. В природе встречается в виде параллельно-шестоватых волокнистых агрегатов, в которых длина волокон достигает до 70 мм. Хризотил-асбест легко расщепляется на тончайшие волоконца до 0,1-0,5 мкм в диаметре, которые отличаются высокой эластичностью и прочностью. Характеризуется высокими адсорбционными свойствами.

При объединении добавки Хризотоп с битумом в результате перемешивания при технологической температуре происходят процессы смачивания минеральной поверхности, растекания, формирования поверхности раздела битум-минеральный материал. Под воздействием тепловой энергии и механических воздействий гранулы Хризотоп распадаются на отдельные волокна, которые в результате расклинивающего давления жидких углеводородов битума расщепляются на микроволокна, на которых происходит адсорбция ССЕ битума. Жидкие углеводороды проникают также в полые цилиндры микроволокон. В результате вязкость битумной дисперсионной среды увеличивается, возникают сольватные оболочки из ССЕ на поверхности микроволокон, размеры и степень агрегированности ССЕ также изменяются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хойберг, А.Дж. Битумные материалы: асфальты, смолы, пеки [Текст] / А.Дж. Хойберг. – М., Химия, 1974 – 248 с.
2. Колбановская, А.С. Дорожные битумы [Текст] / А.С. Колбановская, В.В. Михайлов. – М.: Транспорт, – 1973. – 264 с.
3. Батуева, И.Ю. Химия нефти [Текст] / И.Ю. Батуева, А.А. Гайле, Ю.В. Поконова и др. – Л.: Химия, 1984. – 360 с.
4. Бодан, А.Н. Поликвазисферическая структура нефтяных битумов [Текст] / А.Н. Богдан // Химия и технология топлив и масел. – 1982. – №12. – С. 22-24.
5. Сюняев, З.И. Нефтяные дисперсные системы [Текст] / З.И. Сюняев. – М.: МИНХ и ГП им. И.М. Губкина, 1981. – 84 с.
6. Аминов, Ш.Х. Битум, полимер, адгезив. Особенности производства и применения композиций [Текст] / Ш.Х. Аминов, И.Б. Струговец, З.Г. Теляшев, Ю.А. Кутын // Автомобильные дороги. – 2010. – №1. – С. 55-57.
7. Энциклопедия полимеров [Текст]. – М.: Советская энциклопедия, 1977. – Т. 3. – С. 853-854.
8. Тарчевский, И.А. Биосинтез и структура целлюлозы [Текст] / И.А. Тарчевский, Г.Н. Марченко. – М.: Наука, 1985. – 280 с.
9. Фенглер, В. Древесина (химия ультраструктура, реакции) [Текст] / В. Фенглер, Г. Вегенер. – М.: Лесная промышленность. – 1988. – 512 с.
10. Петропавловский, Г.А. Гидрофильные частично замещенные эфиры целлюлозы и их модификация путем химического сшивания [Текст] / Г.А. Петропавловский. – Л.: Наука, 1988. – 298 с.
11. Гончаров, Ю.И. Минералогия и петрография сырья для производства строительных материалов и технической керамики: Учебное пособие [Текст] / Ю.И. Гончаров, В.С. Лесовик, М.Ю. Гончарова, В.В. Строкова. – Белгород: БелГТАСМ. – 2001. – 181 с.
12. Химическая энциклопедия [Текст]. – М.: Советская энциклопедия. – 1988. – Т. 1 – 623 с.

А.Б. Соломенцев

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство автомобильных дорог»

Тел.: +7 (4862) 73-43-67

E-mail: absolomentsev@mail.ru

И.А. Баранов

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел

Ассистент кафедры «Строительство автомобильных дорог»

Тел.: +7 (4862) 73-43-67

E-mail: IGBaranow@yandex.ru

A. SOLOMENTSEV, I. BARANOV

STRUCTURE OF ROAD BITUMEN AND ITS INTERACTION WITH STABILIZING FIBROUS ADDITIVES FOR STONE MASTIC ASPHALT

On the basis of the analysis of references on structure, a structure and interactions in bitumen, in cellulose and hrzotil-asbestine fibers mechanisms of interaction of cellulose and hrzotil-asbestine fibers with road bitumen in crushed-stone and mastic asphalt concrete mixes are offered.

Keywords: stabilizing additives; cellulose; bitumen; difficult structural units; hrzotil-asbestos.

BIBLIOGRAPHY

1. Hojberg, A.Dzh. Bitumnye materialy: asfal'ty, smoly, peki [Tekst] / A.Dzh. Hojberg. – M., Himija, 1974 – 248 s.
2. Kolbanovskaja, A.S. Dorozhnye bitumy [Tekst] / A.S. Kolbanovskaja, V.V. Mihajlov. – M.: Transport, – 1973. – 264 s.
3. Batueva, I.Ju. Himija nefti [Tekst] / I.Ju. Batueva, A.A. Gajle, Ju.V. Pokonova i dr. – L.: Himija, 1984. – 360 s.
4. Bodan, A.N. Polikvazisfericheskaja struktura neftjanyh bitumov [Tekst] / A.N. Bogdan // Himija i tehnologija topliv i masel. – 1982. – №12. – S. 22-24.

5. Sjunjaev, Z.I. Neftjanye dispersnye sistemy [Tekst] / Z.I. Sjunjaev. – M.: MINH i GP im. I.M. Gubkina, 1981. – 84 s.
6. Aminov, Sh.H. Bitum, polimer, adgeziv. Osobennosti proizvodstva i primenenija kompozicij [Tekst] / Sh.H. Aminov, I.B. Strugovec, Z.G. Teljashev, Ju.A. Kut'in // Avtomobil'nye dorogi. – 2010. – №1. – S. 55-57.
7. Jenciklopedija polimerov [Tekst]. – M.: Sovetskaja jenciklopedija, 1977. – T. 3. – S. 853-854.
8. Tarchevskij, I.A. Biosintez i struktura celljulozy [Tekst] / I.A. Tarchevskij, G.N. Marchenko. – M.: Nauka, 1985. – 280 s.
9. Fengler, V. Drevesina (himija ul'trastruktura, reakcii) [Tekst] / V. Fengler, G. Vegener. – M.: Lesnaja promyshlennost'. – 1988. – 512 s.
10. Petropavlovskij, G.A. Gidrofil'nye chasticchno zameshhennye jefiry celljulozy i ih modifikacija putem himicheskogo sshivanija [Tekst] / G.A. Petropavlovskij. – L.: Nauka, 1988. – 298 s.
11. Goncharov, Ju.I. Mineralogija i petrografija syr'ja dlja proizvodstva stroitel'nyh materialov i tehnicheskoy keramiki: Uchebnoe posobie [Tekst] / Ju.I. Goncharov, V.S. Lesovik, M.Ju. Goncharova, V.V. Strokova. – Belgorod: BelGTASM. – 2001. – 181 s.
12. Himicheskaja jenciklopedija [Tekst]. – M.: Sovetskaja jenciklopedija. – 1988. – T. 1 – 623 s.

A. Solomentsev

State university – educational-science-production complex, Orel
Candidate of technical sciences, senior lecturer of department «Construction of highways»
Ph.: +7 (4862) 73-43-67
E-mail: oantc@ostu.ru

I. Baranov

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

ФЕДОСОВ С.В., АКУЛОВА М.В., СЛИЗНЕВА Т.Е.,
АХМАДУЛИНА Ю.С., КРАСНОВ А.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССАХ

Произведена оценка качества работы гидравлических прессов на основе статистических данных. Установлена стабильность технологического процесса проведения испытаний образцов на прочность. Выявлено повышение прочности и химической стойкости цементных композиций на механоактивированном водном растворе силиката натрия.

Ключевые слова: стабильность технологического процесса; портландцемент; силикат натрия; прочность при сжатии и при изгибе; механоактивация.

В цехах химического производства прочность и химическая стойкость полов имеет большое значение. При этом очень важно, чтобы улучшение качества не предполагало бы значительного удорожания бетонных покрытий. Одним из известных способов повышения химической стойкости и термостойкости бетона является использование композиционного вяжущего, включающего портландцемент и натриевое жидкое стекло. К недостаткам такого вяжущего можно отнести низкую прочность при сжатии и при растяжении. Падение прочности обусловлено неоднородностями структуры цементного камня, возникающими вследствие ускоренного схватывания, при котором часть цементных зерен остается в негидратированном состоянии [1]. Повышения степени гидратации можно добиться увеличением площади контактной поверхности, для чего традиционно применяется помол клинкера, являющийся энергозатратным процессом.

Другой подход к увеличению площади контактов заключается в дальнейшем диспергировании коллоидных частиц – полимерных молекул силиката натрия – в водном растворе в вихревом ударном роторном аппарате [2]. Во время перемешивания раствора со скоростью порядка 3000-3500 об./мин. в нем возникает явление кавитации, вызывающее механолиз водной среды и деполимеризацию молекул $[\text{Na}_2\text{SiO}_3]_n$. В результате активированный раствор жидкого стекла переходит в метастабильное состояние, в котором может оставаться несколько часов, характеризующееся равномерным распределением диспергированных ионных радикалов по всему объему раствора. Затворение цементно-песчаной смеси предварительно активированным водным раствором силиката натрия приводит к образованию плотной монолитной структуры бетона, отличающегося повышенной прочностью и стойкостью к высокотемпературным и химическим внешним воздействиям.

С целью исследования влияния механоактивации водных растворов различной концентрации на прочностные свойства, а также на термо- и химическую стойкость цементного камня и бетона был проведен ряд экспериментов с использованием вихревого ударного аппарата для активации жидкости затворения [2,3].

В экспериментах использовали следующие материалы: портландцемент марки М500 Д0 (ГОСТ 30515-97 «Техническое описание. Область применения»), кварцевый песок (ГОСТ 8736-85), дистиллированная вода (ГОСТ 6709-72* «Вода дистиллированная. Технические условия»), жидкое стекло (ГОСТ 13078-81 «Стекло натриевое жидкое. Технические условия»).

Испытания образцов на термостойкость проводили в муфельной печи по ГОСТ 20910-90. «Бетоны жаростойкие. Технические условия». Прочность образцов-балочек при растяжении, при изгибе и при сжатии устанавливалась в соответствии с требованиями ГОСТ 310.4-92, ГОСТ 10180-90 и ГОСТ 22783-77 (1994). Испытание образцов на сжатие и растяжение при изгибе осуществляли на гидравлических прессах ПГ-100 и ИПС-200.

При исследовании физико-механических свойств цементных композиций большое значение имеет стабильность технологического процесса проведения испытаний, которая во мно-

гом определяет актуальность и достоверность полученных экспериментальных данных [4]. Для случая испытания образцов цементных композиций на прочность под стабильностью технологического процесса понимается его свойство обеспечивать постоянство распределения вероятностей его параметров и показателей состояния технологического оборудования (прессов) в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне. Оценка качества работы прессов при этом производится с использованием статистических методов [5].

Анализ характера рассеивания исследуемого показателя (прочности при сжатии) проводили на основании данных десяти опытов (выборок) по пять испытаний в каждом, представленных в таблице 1, которые затем располагали в порядке возрастания и ранжировали, согласно методике [4, 5].

Таблица 1 – Прочность при сжатии исследуемых образцов

Номер выборки	Значения прочности при сжатии образцов цементного камня, МПа				
1	29,85	30,98	33,27	35,92	36,96
2	30,54	33,55	35,07	37,95	40,25
3	27,81	31,4	34,54	36,25	38,55
4	30,98	33,28	35,12	36,34	40,01
5	28,55	31,95	34,05	36,55	38,81
6	31,94	32,55	34,68	36,94	39,55
7	27,82	31,87	34,55	36,55	38,75
8	31,91	32,99	35,05	37,95	39,99
9	27,81	31,05	34,25	35,95	38,25
10	31,55	33,46	35,93	37,96	40,65

Минимальное и максимальное значения выборки, необходимые для построения интервальной таблицы частот, составили $x_{min} = 27,81$ МПа, $x_{max} = 40,65$ МПа, соответственно. Размах выборки $R = x_{max} - x_{min} = 12,84$ МПа.

Количество интервалов определяли по формуле: $z = 1 + 3,322 \cdot \lg n \approx 7$.

Выборочное среднее значение прочности на сжатие: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^7 x_i \cdot n_i = \frac{1}{50} \cdot 1720,67 \approx 34,41$ МПа.

Выборочная дисперсия: $D_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^7 x_i^2 \cdot n_i - \bar{x}^2 = \frac{1}{50} \cdot 59720,6 - 34,41^2 \approx 10,13$ МПа.

Выборочное среднее квадратическое отклонение: $\sigma = \sqrt{D_B} \approx 3,18$ МПа.

Теоретические частоты предполагаемого нормального распределения вычисляли по формуле: $n^T = n \cdot l \cdot \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$.

По данным расчетов эмпирические и теоретические частоты отличались незначительно: $\chi^2_{\text{набл}} = 3,27$, $\chi^2(0,05; 4) = 9,49$ и $\chi^2_{\text{набл}} < \chi^2(0,05; 4)$. На рисунке 1 представлены экспериментальная и теоретическая кривые распределения.

Вид экспериментальных графических данных позволяет утверждать, что распределение значений прочности цементного камня при сжатии близко к нормальному распределению с двусторонней симметрией, что указывает на стабильность технологического процесса [4, 5].

Дополнительным подтверждением стабильности технологического процесса испытания образцов на прочность могут служить контрольные карты, используемые для статистического контроля и регулирования технологических процессов [4, 5]. При построении контрольных карт средних значений прочности цементного камня при сжатии (\bar{x} -карты) и средних квадратических отклонений значений прочности цементного камня при сжатии (s -карты) использовали данные таблицы 1. Контрольные карты представлены на рисунках 2 и 3.

Точки на \bar{x} -карте – средние значения небольших выборок, обычно одинакового объема, – рассчитывали по формуле:

$$\bar{x}_i = \frac{x_{i1} + \dots + x_{i5}}{n},$$

где $n=5$ – объем выборки (подгруппы).

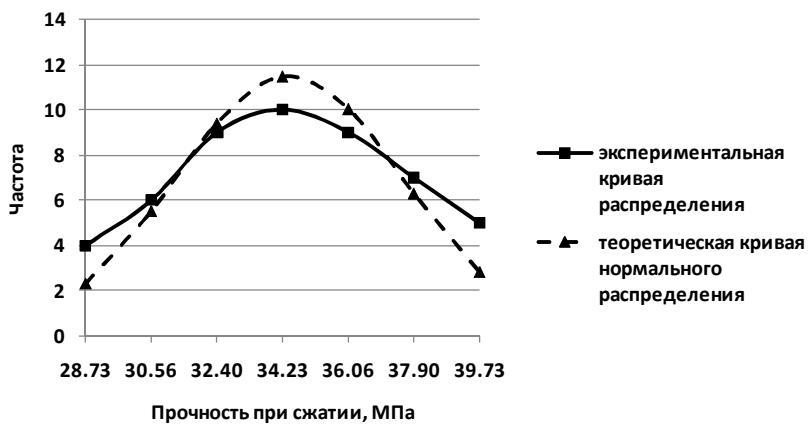


Рисунок 1 – Экспериментальная и теоретическая кривые распределения прочности цементного камня при сжатии

Среднюю линию рассчитывали как среднее из средних значений выборок:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \dots + \bar{x}_5}{k},$$

где $k=10$ – число подгрупп (число точек).

Контрольные границы определяли по формуле: $K_{B,H} = \bar{\bar{x}} \pm \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$,

где $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x})^2}{nk}}$ – среднее квадратичное отклонение всей совокупности данных.

Точки на карте – средние квадратичные отклонения выборок одинакового объёма из 5 элементов. Средняя линия \bar{s} – это среднее из средних квадратических отклонений выборок. Контрольные границы вычисляли по формулам:

$$K_H = \frac{\bar{s} \cdot \sqrt{\chi_{\alpha/2, n-1}^2}}{\sqrt{n-1}}, \quad K_B = \frac{\bar{s} \cdot \sqrt{\chi_{1-\alpha/2, n-1}^2}}{\sqrt{n-1}},$$

где χ^2 – критерий Пирсона, n – объём выборки; α – уровень значимости. Обычно принимают $\alpha = 0,0027$, что соответствует доверительной вероятности 0,9973.

На контрольных картах, представленных на рисунках 2-3, нет показаний разлаженности процесса: нет точек, выходящих за контрольные пределы; нет серии из трех точек по одну сторону от средней линии; точки не образуют непрерывно возрастающую или непрерывно убывающую кривую; нет точек за предупредительными двухсигмовыми границами. Следовательно, рассеяние значений прочности при сжатии приемлемо, и по рассеянию процесс стабилен (оборудование настроено достаточно точно) [4, 5]. Таким образом, с вероятностью 99,73% можно утверждать, что в результате проведенных испытаний на гидравлических прессах ПГ-100 и ИПС-200 получены достоверные данные о прочности исследуемых образцов. Следовательно, можно ожидать, что выводы о влиянии различных факторов (таких как механоактивация воды затворения или применение добавки) на прочностные показатели цементных композиций являются обоснованными.

Подбор состава бетона, обладающего заданными свойствами, должен осуществляться на основе большого количества испытаний на соответствие образцов требуемым значениям эксплуатационных характеристик. В связи с этим целесообразно применить метод планирования эксперимента. В качестве плана эксперимента был принят план второго порядка Бокса-Бенкена [6], позволяющий получить регрессионные уравнения, описывающие изменение прочности цементного камня при сжатии и при изгибе в зависимости от изменения водоцементного отношения, времени активации и количества силиката натрия в составе воды затворения. После вычисления и оценки на значимость регрессионных коэффициентов по критерию Стьюдента были получены следующие зависимости:

1) для прочности цементного камня при сжатии:

$$y_{\text{сж}} = 50,428 - 1,92x_1 - 4,64x_2 - 4,124x_1^2 - 6,354x_2^2 - 4,154x_3^2 - 3,5x_2x_3, \quad (1)$$

2) для прочности цементного камня при изгибе:

$$y_{изг} = 10,89 - 0,22x_1 - 0,87125x_2 - 1,4x_1^2 - 1,117x_2^2 - 1,475x_3^2 + 0,2175x_1x_3 - 0,505x_2x_3, \quad (2)$$

где x_1, x_2, x_3 – нормированные (кодированные) факторы: водоцементное отношение, время активации и концентрация жидкого стекла, соответственно. Безразмерные значения нормированных факторов вычисляли по формуле:

$$x_i = \frac{x - x_0}{x_{max} - x_0}, \quad i=1, 2, 3,$$

где x – текущее значение i -го фактора в размерных единицах; x_{max} – наибольшее значение i -го фактора в размерных единицах; x_0 – среднее значение i -го фактора в размерных единицах.

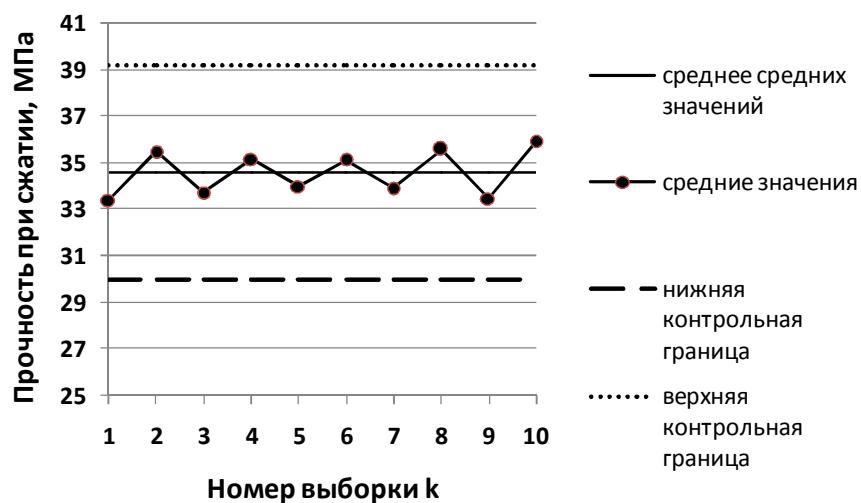


Рисунок 2 – Контрольная карта средних значений прочности цементного камня при сжатии

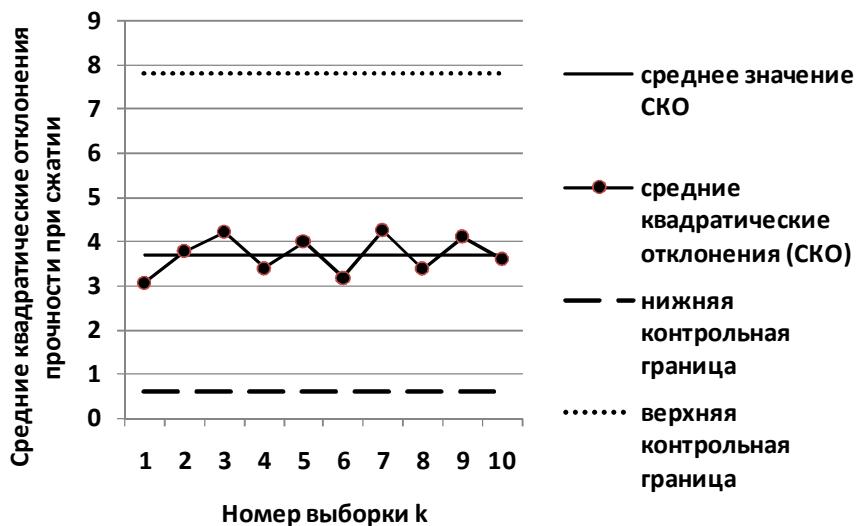


Рисунок 3 – Контрольная карта средних квадратических отклонений значений прочности цементного камня при сжатии

Адекватность уравнений регрессии (1)-(2) установили на основании F -критерия [6]. Представленная на рисунке 4 поверхность, построенная по уравнению (10) при $x_3 = 0$ (5 %), имеет максимум при времени активации около 60 секунд и В/Ц в области 0,3-0,31. По характеру коэффициентов уравнения (1) можно заключить, что поверхность функции $y_{изг}$ также имеет максимум в области, близкой к центру эксперимента. Используя регрессионные зависимости (1)-(2), построили ряд поверхностей откликов, в результате анализа которых были найдены значения факторов модели, обеспечивающие наилучшие прочностные характеристики. Наибольшая прочность наблюдалась у образцов, полученных при водоцементном отноше-

ния 0,3, времени активации раствора жидкого стекла 60 сек., концентрации жидкого стекла 5%, что приблизительно соответствовало центру факторного пространства. Данные значения технологических параметров были использованы при исследовании термостойкости и химической стойкости мелкозернистого бетона, приготовленного на активированном водном растворе силиката натрия. Водоцементное отношение при затворении бетона выбирали из диапазона 0,45…0,6. В таблице 2 приведены составы изучаемых образцов.

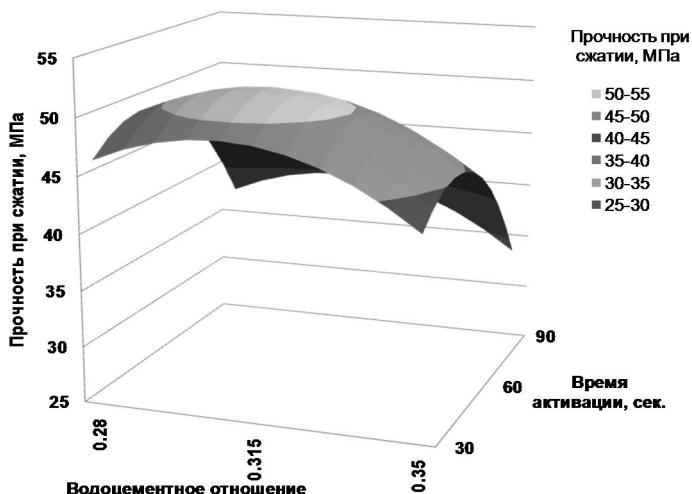


Рисунок 4 – Зависимость прочности цементного камня при сжатии от водоцементного отношения и времени активации

Таблица 2 – Составы и физико-механические характеристики мелкозернистого бетона

№ состава	Ц/П	В/Ц	Концентрация раствора сили- ката натрия, %	Время ак- тивации, сек	Прочность при сжа- тии, МПа	Прочность при изги- бе, МПа	Термостойкость, теплосмен	Химическая стойкость, %
1	0,35	0,5	-	-	13,8	3,3	3	0,28
2	0,35	0,5	5	-	14,8	3,7	4	0,33
3	0,35	0,5	5	60	21,1	4,5	6	0,78
4	0,4	0,6	5	60	19,3	4,2	5	0,71

В результате проведенных испытаний было установлено, что затворение портландцемента активированным водным раствором силиката натрия позволило повысить прочность бетона на сжатие на 52%, на растяжение при изгибе на 36%. Термостойкость образцов возросла в 1,8 раза, коэффициент химической стойкости увеличился в 1,5 раза.

Механоактивация водных растворов жидкого стекла способствовала не только диспергации частиц силиката натрия, но и равномерному распределению их в объеме раствора. Нарушенные в процессе механолиза и перестроенные водородные связи, вероятно, обусловили ускорение процессов сольватации и растворения твердых веществ. При затворении портландцемента таким раствором цементные зерна подвергались атакам как со стороны силикат-ионов, так и со стороны гидроксил-ионов, вызывающих их пептизацию. Увеличение площади контактной поверхности твердой фазы привело к повышению степени гидратации, полноты химических взаимодействий, равномерному распределению новообразований в смеси, уплотнению структуры камня и, в конечном счете, к улучшению эксплуатационных свойств мелкозернистого бетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глекель, Ф.Л. Регулирование гидратационного структурообразования поверхностно-активными веществами [Текст] / Ф.Л. Глекель, Р.З. Копп, К.С. Ахмедов. – Ташкент: Фан, УзССР, 1986. – 224 с.
2. Акулова, М.В. Механоимпульсная активация жидкофазных функциональных добавок в цементы и бетоны [Текст] / М.В. Акулова, А.Н. Стрельников, Т.Е. Слизнева, В.А. Падохин, А.В. Базанов // Актуальные проблемы современного строительства: Материалы Междунар. Науч.-практич. Конф. – Пенза: ПГУАС, 2011. С. 5-8.

3. Федосов, С.В. Свойства цементных композитов на механоактивированном растворе силиката натрия [Текст] / С.В. Федосов, М.В. Акулова, Т.Е. Слизнева и др. // Вестник МГСУ. – 2012. – №1. – С. 57-62.
4. Ефимов, В.В. Статистические методы в управлении качеством [Текст] / В.В. Ефимов. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 134 с.
5. Управление качеством / С.Д. Ильинкова, Н.Д. Ильинкова, С.Ю. Ягудин и др.; Под ред. доктора экономических наук, проф. Ильинковой С.Д. М.: ЮНИТИ, 1998. – 205 с.
6. Ивоботенко, Б.А. Планирование эксперимента в электромеханике [Текст] / Б.А. Ивоботенко, Н.Ф. Ильинский, И.П. Копылов – М.: Энергия, 1975. – 184 с.

С.В. Федосов

Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительное материаловедение и специальные технологии»

Тел.: +7 (4932) 32-89-42

М.В. Акулова

Ивановский государственный архитектурно-строительный университет, г. Иваново

Доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Производство строительных материалов, изделий и конструкций»

E-mail: m_akulova@mail.ru

Т.Е. Слизнева

Ивановский государственный архитектурно-строительный университет, г. Иваново

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая и прикладная математика»

E-mail: tatjanasлизнева@mail.ru

Ю.С. Ахмадулина

Ивановский государственный архитектурно-строительный университет, г. Иваново

Аспирант, ассистент кафедры «Высшая и прикладная математика»

E-mail: jul1d1@yandex.ru

А.М. Краснов

Поволжский государственный технологический университет, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола

Доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные материалы и технология строительства»

E-mail: ksmts@volgatech.net

S. FEDOSOV, M. AKULOVA, T. SLIZNEVA,
Ju. AKHMADULINA, A. KRASNOV

STUDY OF PROPERTIES OF CEMENT COMPOSITION BY THE INSTRUMENTALITY OF A HYDRAULIC PRESS

The estimation of function of a hydraulic press quality was performed by the statistical data. The technological process of test operation of the probe strength was shown to be stable. The strength and the chemical stability of cement compositions mixed by the mechanical activated water solution of sodium silicate were increased.

Keywords: technological process stability; portland sodium silicate; compressive strength; flexural strength; mechanical activation.

BIBLIOGRAPHY

1. Glekel', F.L. Regulirovanie gidratacionnogo strukturoobrazovaniya poverhnostno-aktivnymi veshhe-stvami [Tekst] / F.L. Glekel', R.Z. Kopp, K.S. Ahmedov. – Tashkent: Fan, UzSSR, 1986. – 224 s.
2. Akulova, M.V. Mehanoimpul'snaja aktivacija zhidkofaznyh funkcional'nyh dobavok v cementy i betony [Tekst] / M.V. Akulova, A.N. Strel'nikov, T.E. Slizneva, V.A. Padohin, A.V. Bazanov // Aktual'nye problemy sovremen-nogo stroitel'stva: Materialy Mezhdunar. Nauch.-praktich. Konf. – Penza: PGUAS, 2011. S. 5-8.
3. Fedosov, S.V. Svojstva cementnyh kompozitov na mehanoaktivirovannom rastvore silikata natrija [Tekst] / S.V. Fedosov, M.V. Akulova, T.E. Slizneva i dr. // Vestnik MGSU. – 2012. – №1. – S. 57-62.

4. Efimov, V.V. Statisticheskie metody v upravlenii kachestvom [Tekst] / V.V. Efimov. – Ul'janovsk: UIGTU, 2003. – 134 s.
5. Upravlenie kachestvom / S.D. Il'enkova, N.D. Il'enkova, S.Ju. Jagudin i dr.; Pod red. doktora jekonomicheskikh nauk, prof. Il'enkovoj S.D. M.: JuNITI, 1998. – 205 s.
6. Ivobotenko, B.A. Planirovanie eksperimenta v elektromehanike [Tekst] / B.A. Ivobotenko, N.F. Il'inskij, I.P. Kopylov – M.: Jenergija, 1975. – 184 s.

S. Fedosov

Ivanovo state university of architecture and building, Ivanovo

Doctor of technical science, professor, head of department «Building materials technology and special technologies»

Ph.: +7 (4932) 32-89-42

M. Akulova

Ivanovo state university of architecture and building, Ivanovo

Doctor of technical science, professor, head of department «Production of building materials, products and designs»

E-mail: m_akulova@mail.ru

T. Slizneva

Ivanovo state university of architecture and building, Ivanovo

Candidate of technical science associate professor of higher and applied mathematics department

E-mail: tatjanasлизнева@mail.ru

Ju. Akhmadulina

Ivanovo state university of architecture and building, Ivanovo

Assistant of higher and applied mathematics department

E-mail: jul1d1@yandex.ru

A. Krasnov

Povolgsk state technology university, Mariy El Republic, Russia

Doctor of technical science, professor of building materials and building technology department

E-mail: ksmts@volgatech.net

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 присыпать 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-uprk.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»)
302006, г. Орел, ул. Московская, 77.
+7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор С.В. Солопов
Компьютерная верстка С.В. Солопов

Подписано в печать 26.07.2013 г.
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 5,75.

Тираж 400 экз.
Заказ №_____

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