



Научно-технический журнал
Издается с 2003 года.
Выходит шесть раз в год.
№1 (57) 2015
(январь-февраль)

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:

Бок Т. д.т.н., проф. (Германия)
Бондаренко В.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Гордон В.А. д.т.н., проф.
Емельянов С.Г. советник РААСН, д.т.н., проф.
Карпенко Н.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
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.
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.
Сикора З. д.т.н., проф. (Польша)
Тамразян А.Г. д.т.н., проф.
Тур В.В. д.т.н., проф. (Белоруссия)
Турков А.В. д.т.н., проф.
Федоров В.С. акад. РААСН, д.т.н., проф.
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», 2015

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Алексейцев А.В., Серпик И.Н.** Экспериментально-теоретический анализ
запроектного воздействия на стальную раму со страховочными тяжами.. 3
- Карельский А.В., Лабудин Б.В., Мелехов В.И.** Испытание на сдвиг
элементов деревянных конструкций, соединенных металлическими
зубчатыми пластинами..... 11
- Коробко А.В., Прокуров М.Ю., Черняев А.Ю.** Развитие технической
теории расчёта пластинчатых конструкций на основе методов
геометрического моделирования их формы..... 17
- Кривошапко С.Н.** Виды аварий и разрушений пространственных структур
и оболочек..... 22
- Купчикова Н.В.** Аналитический метод определения перемещений свайных
фундаментов с уширениями вверху на горизонтальное статическое
воздействие..... 33
- Мурашкин Г.В., Филиппов В.А.** Исследование работы узлов
пространственного стержневого покрытия из предварительно
напряженных непрерывно армированных рамных элементов..... 40
- Савин С.Ю., Скотникова М.А.** Совершенствование микф для расчета
упругих ортотропных пластинок в виде параллелограммов..... 48
- Степанов А.Ю., Римшин В.И.** Напряженно-деформированное состояние
конструкций зданий и сооружений армированных композитной полимерной
арматурой при сейсмическом воздействии..... 57
- Турков А.В., Марфин К.В.** Способы учета податливости жесткого
защемления при проведении эксперимента..... 62

Безопасность зданий и сооружений

- Соколов В.А.** Вероятностный анализ технического состояния кирпичных
стен зданий старой городской застройки..... 65

Архитектура и градостроительство

- Бакаева Н.В., Матюшин Д.В., Новикова Т.М.** Оценка акустического
загрязнения городской среды на основе показателя биосферной
совместимости..... 74
- Корнева Е.В.** Градостроительные факторы обоснования реконструкции
исторических комплексов..... 84
- Переславцева И.И., Яременко С.А.** Натурные исследования движения
людского потока по основным участкам эвакуационных путей зданий
и сооружений..... 91
- Семенов В.Н.** Перспективы обеспечения тепловой энергией жилищного
строительства городского округа город Воронеж на период до 2029 года. 100

Строительные материалы и технологии

- Караваев И.В., Румянцева В.Е.** К вопросам методики проведения
испытаний анкеровки арматуры неметаллической композитной в бетоне. 108
- Корохов В.Г., Бурова И.В.** Минимизация материально-энергетических
сварочно-монтажных потерь при ограниченной экспериментальной выборке 114
- Лаптев Г.А., Потапов Ю.Б., Ерофеев В.Т.** Разработка технологии
изготовления металлобетонов..... 123
- Лукутцова Н.П., Кулеш И.А., Антоненкова О.Е., Пыкин А.А., Устинов А.Г.,
Мацаенко А.А., Суглобов А.В.** Кинетические модели для оценки
агрегативно-седиментационной устойчивости высокодисперсных добавок
к бетону и раствору, полученных ультразвуковым диспергированием
минеральных компонентов в водной среде..... 130
- Щепочкина Ю.А.** О толщине шва кладки керамического кирпича..... 137

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



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

№1 (57) 2015
(January-February)

BUILDING AND RECONSTRUCTION

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

Editorial council:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editor-in-chief

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

Editor-in-chief assistants:

Danilevich D.V. Candidat Sc. Tech., Assis-
tant Prof.

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

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

Editorial committee

Bock T. Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)

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

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

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

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

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

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

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

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

Sergeychuk O.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)

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

Sikora Z. Doc. Sc. Tech., Prof. (Poland)

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

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

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

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

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 firm 03.04.11 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»
86294

© State University ESPC, 2015

Contents

Theory of engineering structures. Building units

Alekseytsev A., Serpik I. Experimental and theoretical analysis of the emergency action on steel frame with safety tension bars.....	3
Karelskiy A., Labudin B., Melehov V. Shear test elements of wooden structures, united punched metal plate fasteners.....	11
Korobko V., Chernyaev A., Prokurov M. Development of technical design theory lamellar structures based on the methods of geometric modeling their shapes.....	17
Krivoshapko S. The types of failures and collapses of spatial structures and shells.....	22
Kupchikova N. Analytical method of calculation of pile foundations with the widened up on a horizontal static impact.....	33
Murashkin G., Filippov V. A study of joints in spatial frame roof structures of reinforced prestressed members.....	40
Savin S., Skotnikova M. Improvement of the interpolation technique by shape factor to compute parallelogram elastic orthotropic plates.....	48
Stepanov A., Rimshin V. Stress-strain state of buildings and structures reinforced composite polymeric reinforcement in seismic effects.....	57
Turkov A., Marfin K. Method of accounting pliable rigid support during the experiment.....	62

Building and structure safety

Sokolov V. Probabilistic analysis of the technical state of the brick walls of the old city building.....	65
--	----

Architecture and town-planning

Bakaeva N., Matyushin D., Novikova T. The evaluation of the acoustic pollution of the urban environment based on the biosphere compatibility index.....	74
Korneva E. Urban factors justify the reconstruction of objects.....	84
Pereslavl'tseva I., Jaremenko S. A survey of occupant load for egress capacity	91
Semenov V. Prospects for thermal energy for housing in the city district of Voronezh up to 2029.....	100

Construction materials and technologies

Rumyantseva V., Karavaev I. On test methods for non-metal composite bar anchorage.....	108
Korohov V., Burova I. Reduction of material and energy welding and assembly of loss in limited experimental sample.....	114
Lapteev G., Potapov J., Erofeev V. Development of manufacturing technology metalloconcretes.....	123
Lukutcova N., Cudesh I., Antonenkova O., Pikin A., Ustinov A., Matsaenko A., Suglobov A. Kinetic models for evaluating aggregation-sedimentation stability of finely concrete and mortar admixtures obtained by ultrasonic dispersion of mineral components in aqueous medium.....	130
Shchepochkina Ju. About the thickness of the seam masonry brick.....	137

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАПРОЕКТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТАЛЬНУЮ РАМУ СО СТРАХОВОЧНЫМИ ТЯЖАМИ

Выполнены экспериментальные исследования и расчетная оценка живучести стальной двухпролетной рамы, оборудованной страховочными тяжами. В качестве запроектного воздействия рассматривалось быстрое удаление центральной стойки из конструктивной схемы. Описывается методика проведения испытаний и сбора экспериментальных данных. Приведены результаты замеров перемещений и относительных деформаций. Расчеты осуществлялись на основе прямого метода численного интегрирования дифференциальных уравнений движения с учетом физической и геометрической нелинейностей. Достигнуто удовлетворительное соответствие расчетных и экспериментальных данных.

Ключевые слова: *стальная рама, запроектное воздействие, эксперимент, расчет, система сбора данных, динамика, деформации, нелинейность.*

Важнейшим требованием современного строительного проектирования является обеспечение повышенной живучести зданий и сооружений. Исследование данной проблемы для железобетонных конструктивных систем проводилось в работах [1-7], где рассматривались процессы динамического догружения при выключении отдельных связей. Анализ динамических эффектов в стальных конструкциях при запроектных воздействиях отражен в работах [8-11, 17]. В работах [12, 13] предложены конструктивные решения для повышения сопротивляемости стальных рам к локальным повреждениям путем введения страховочных элементов и устройств. Выполнены теоретические исследования деформаций конструкций с такими устройствами [14]. Представляет существенный интерес и экспериментальное изучение этого вопроса. В настоящей работе приведены основные результаты испытаний двухпролетной металлической рамы со страховочными тяжами при быстром выключении из конструктивной схемы центральной стойки. На основе полученных экспериментальных данных проведена верификация методики расчета конструкций с учетом запроектных воздействий, рассмотренной в работе [11].

1. Постановка задачи экспериментальных исследований. Требуется выполнить анализ живучести усиленной тяжами стальной двухпролетной рамы при быстром удалении средней стойки. При этом должны быть измерены значения перемещений и деформаций для ряда участков повреждаемой конструкции с целью изучения возникающих динамических эффектов и оценки точности расчетных методов.

2. Описание установки. Объектом эксперимента является двухпролетная плоская рама (рис. 1), включающая изготавливаемые из двутавров 10Б по ГОСТ 26020-83 крайние стойки 1, среднюю стойку 2 и балки 3. Предусмотрены жесткие соединения балок между собой, крайних стоек с балками и с силовым полом 4. Выполнено свободное опирание балок на среднюю стойку. Конструкция узла опирания средней стойки на силовой пол предусматривает возможность ее быстрого удаления (см. рис. 1, вид Б). Перемещения рамы из плоскости Озу ограничивалось при помощи вспомогательных стоек 5 (двутавр 10Б) и прогонов 6 (труба квадратная 50×3 по ГОСТ 30245-93). Каждое соединение этих элементов осуществлялось через шип *S*, входящий в паз *П* (см. рис. 1, вид Д), что обеспечивало свободное вертикальное перемещение прогонов относительно стоек 5. Стойки 1 в верхних частях соединены тяжами 7 из круглых труб 51×3 по ГОСТ 10704-91 с силовым полом. Грузы 8 массой 195 кг каждый подвешены к балкам с помощью пластин 9 и шпилек 10, образующих вместе с балками 3 обоймы. Неизме-

няемость обоймы обеспечивалась прижатием грузов к балке путем затяжки гаек на шпильках. Фото образца рамы показано на рисунке 2.

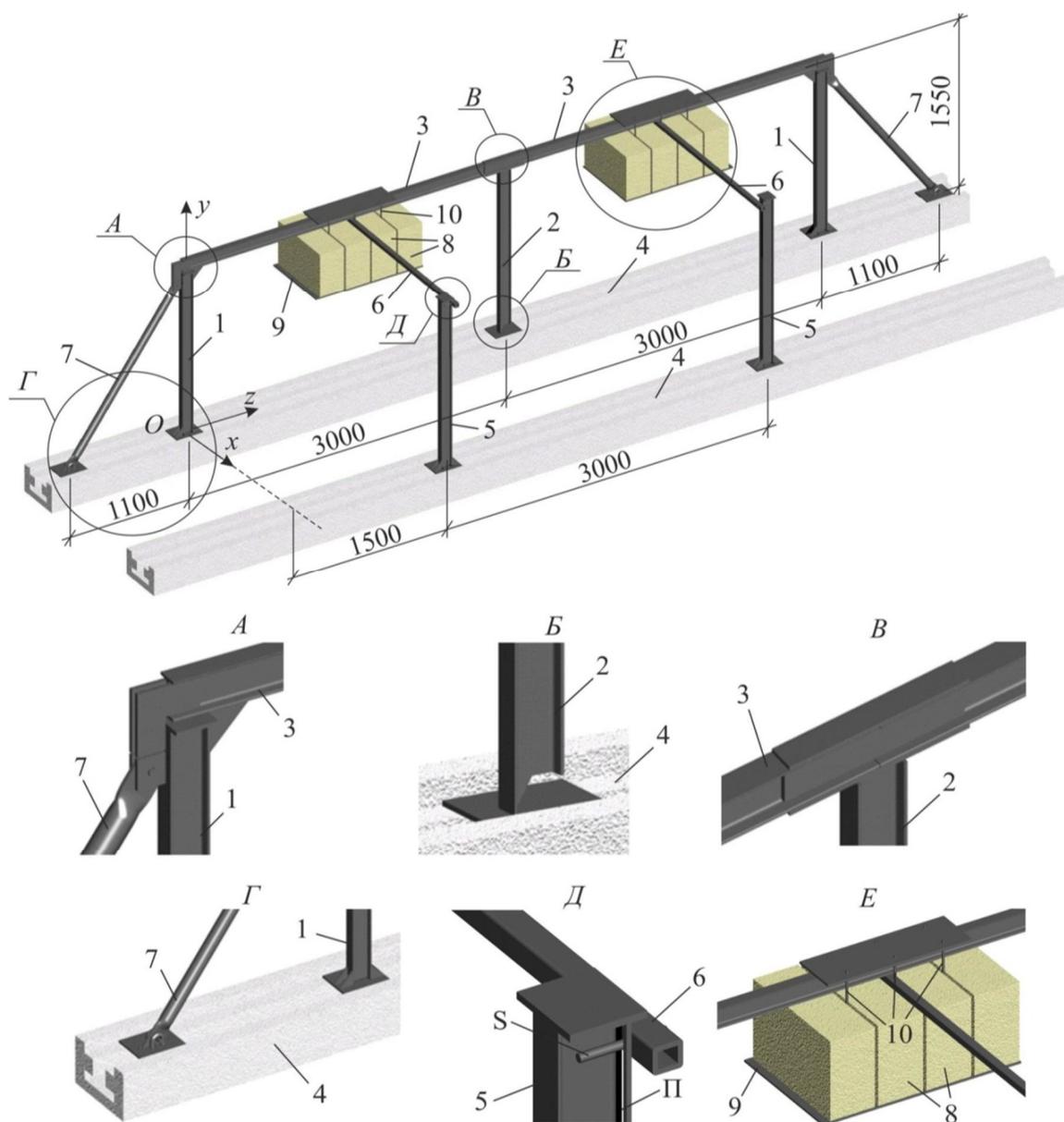


Рисунок 1 – Твердая модель рамы при установке четырех грузов в каждом пролете

3. План эксперимента. Планировалось динамическое испытание рамы путем быстрого удаления средней стойки. Предусматривалось три варианта установки грузов на раму: первый – по одному грузу в середине каждого пролета; второй – по два груза; третий – по четыре груза. Для каждого состояния загрузки следовало с помощью механического воздействия стержнем T (см. рис. 2) вывести из работы конструкции среднюю стойку. Если на текущем воздействии не зарегистрировано существенных остаточных деформаций рамы, то последующий этап испытаний выполняется на том же образце. В противном случае для эксперимента должен использоваться новый образец. Для каждого воздействия необходимо выполнить замеры перемещений и относительных деформаций.

4. Схема замеров, приборы и оборудование. В сечениях I-I, II-II (рис. 3) устанавливались тензометрические датчики ТД1-ТД8 типа КФ 5П1-3-200Б12 с базой 5 мм и сопротивлением $200 \pm 0,2$ Ом. Для фиксации датчиков на раме использовался клей холодного отверждения «Циакрин АО».



Рисунок 2 – Образец рамы

Сигналы от датчиков регистрировались с помощью крейтовой (модульной) системы сбора данных LTR EU-2 с микросхемами LTR-212, позволяющими выполнять фиксацию процесса с частотой до 3000 Гц. В эксперименте использовался режим сбора информации с частотой 1536 Гц. Данные, полученные крейтовой системой, передавались на компьютер и обрабатывались при помощи программы Lgraph 2.0, имеющей возможность визуализации измеренных деформаций во времени. В точке *D* (см. рис. 3) измерялись вертикальные перемещения с использованием промышленной системы сбора данных Gantner Instruments, включающей универсальный модуль Qbloxx A109 и тросовый датчик перемещений SX50-1250-16-L-SR (рис. 4).

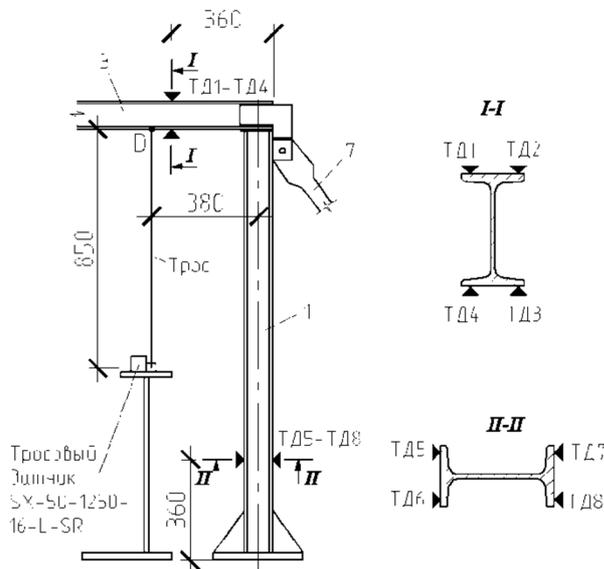


Рисунок 3 – Схема расположения измерительных приборов



Рисунок 4 – Установка тросового датчика

Показания тросового датчика обрабатывались программами SignaSoft 6000 и Test.commander. Для измерения перемещений рамы после затухания колебаний использовался лазерный дальномер Bosh DLE 70 professional. Порядок работы с данными в ходе эксперимента отражен на рисунке 5. Дискретные сведения о перемещениях и деформациях рамы обрабатывались в программном комплексе MATLAB 2014a при помощи одномерного преобразования вейвлетом Мейера, позволяющим удалить шум и получить непрерывные зависимости, соответствующие низшей частоте собственных колебаний рамы.

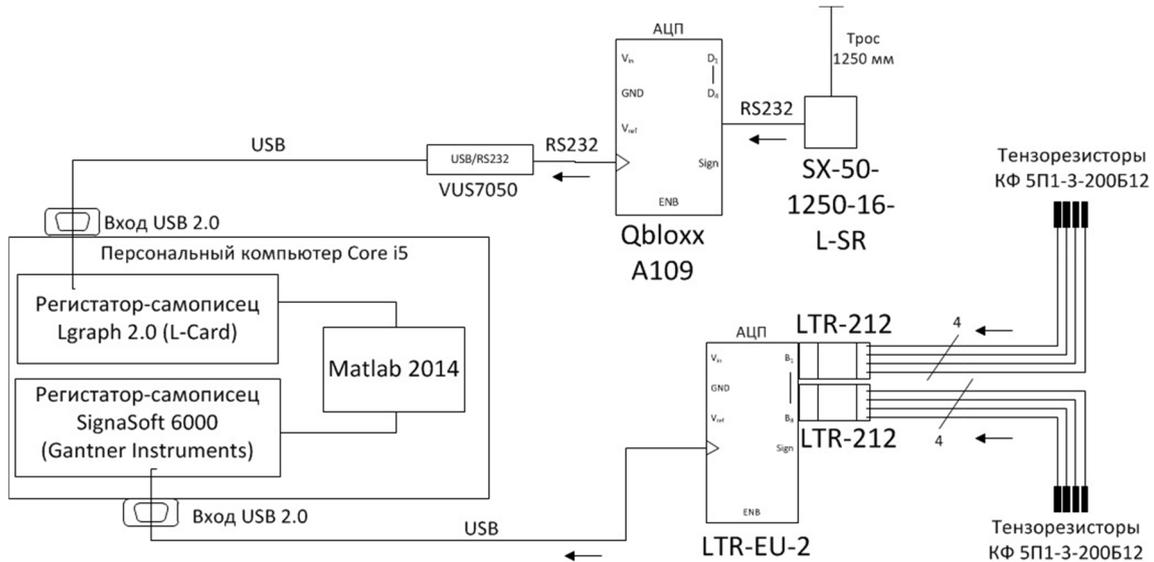


Рисунок 5 – Принципиальная схема сбора и обработки данных

Для определения статических значений механических характеристик материала рамы была проведена серия испытаний плоских образцов, вырезавшихся из стенки двутавра, на разрыв. Полученные диаграммы деформирования имели выраженную площадку текучести. По результатам статистической обработки испытаний с доверительной вероятностью 0,95 был установлен предел текучести материала $\sigma_m = 349 \pm 13 \text{ МПа}$, предел прочности $\sigma_s = 522 \pm 15 \text{ МПа}$. Определены соответствующие относительные деформации $\varepsilon_m = 0,0018 \pm 0,0002$, $\varepsilon_s = 0,233 \pm 0,026$.

5. Результаты испытаний. На всех этапах нагружения живучесть конструкции обеспечивалась. Остаточные деформации были зафиксированы только при загрузении образца максимальным числом грузов. Вид рамы после затухания колебаний на третьем этапе испытаний показан на рисунке 6. На рисунке 7 представлены некоторые данные об измеряемых величинах продольных деформаций ε и вертикального перемещения Δ_D точки D (см. рис. 3), откуда видно, что максимальные по модулю значения перемещений и деформаций могут достигаться на втором или третьем периоде основной формы колебаний. Следует отметить, что об эффекте такого типа ранее отмечалось в работе [9]. На рисунке 7 момент времени $t = 0$ соответствует началу активации систем сбора данных о перемещениях и деформациях, параметры $\tilde{\varepsilon}_0$, $\tilde{\Delta}_{D0}$ – это значения величин ε и Δ_D от действия собственного веса рамы и грузов до момента удаления опоры при статическом нагружении.



Рисунок 6 – Рама после затухания колебаний

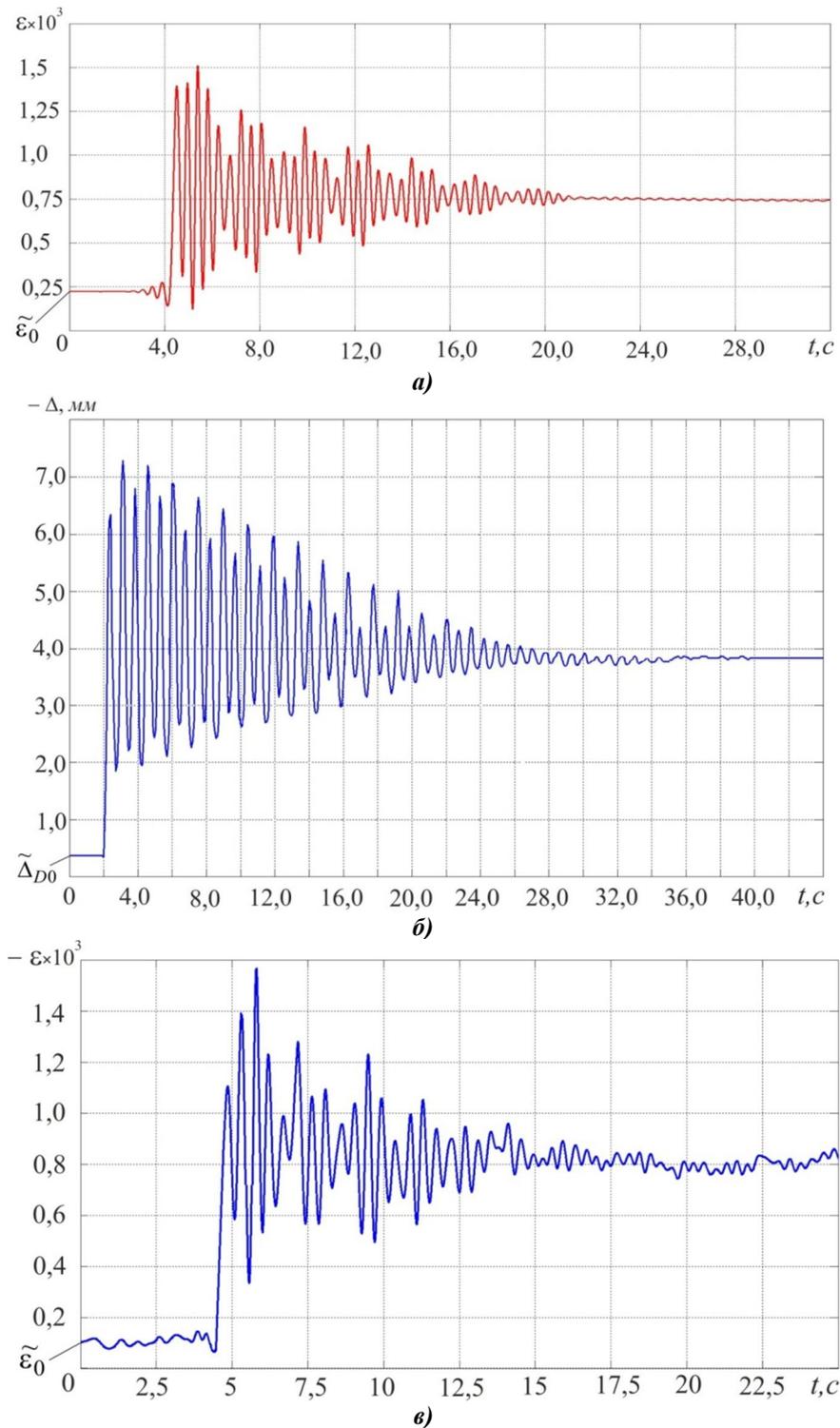


Рисунок 7 – Результаты измерений во времени: а – деформации, зафиксированные тензорезистором ТД1 на втором этапе нагружения б; в – вертикальные перемещения точки D и деформации, замеренные тензорезистором ТД7 на третьем этапе нагружения рамы

6. Расчет рамы на запроектное воздействие. Расчеты рамы выполнялись в динамической постановке с учетом физической и геометрической нелинейности на основе методики, изложенной в работе [11]. Учитывалось полученное методом пиков [15] на основе сведений эксперимента значение коэффициента $\beta = 0,0052$ конструкционного демпфирования по Релею. В случае действия внезапной нагрузки динамический предел текучести σ_m^D определялся упрощенно по рекомендациям книги [16]: $\sigma_m^D = 1,1 \cdot \omega^{1/17} \cdot \sigma_m$, где ω – низшая частота соб-

ственных колебаний конструкции. Согласно экспериментальным замерам, для исследуемой конструкции среднее значение $\omega = 2,2$ Гц. При этом $\sigma_m^D = 1,1 \cdot 2,2^{1/17} \cdot 349 = 402$ МПа. Диаграмма растяжения стали аппроксимировалась по схеме Прандтля. Рама считалась раскрепленной из своей плоскости. Деформации объекта описывались стержневыми конечными элементами (рис. 8). Грузы представлялись материальными точками m . Учитывались силы тяжести в виде сосредоточенных сил P от грузов и распределенной нагрузки от стержневой рамы. Кроме того, выполнялись расчеты данного объекта при отсутствии страховочных тяжей.

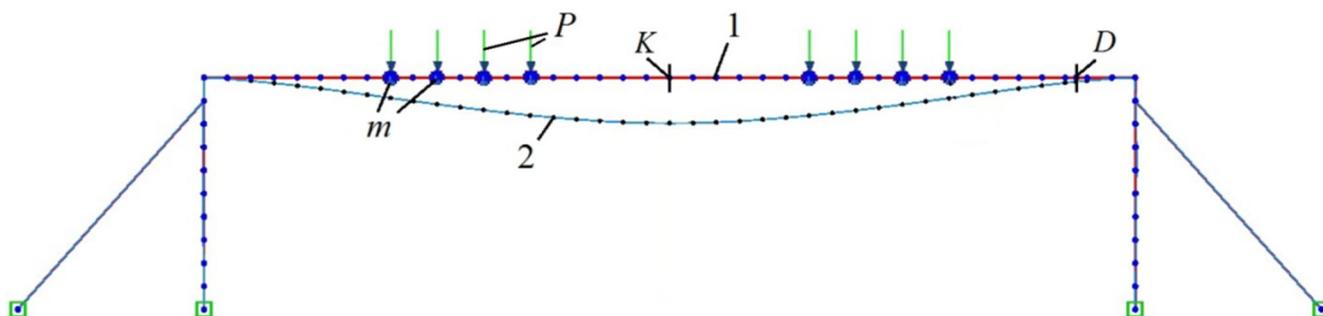


Рисунок 8 – Конечно-элементная модель рамы с тяжами для третьего этапа испытаний:
1 – исходная геометрия; 2 – деформированная схема после затухания колебаний для третьего этапа нагружения

В случае расчета рамы без тяжей деформации стержневой системы при переходе к третьему этапу нагружения неограниченно возрастали, что можно интерпретировать как разрушение конструкции. Введение тяжей в расчетную схему привело к тому, что ни для одного из этапов нагружения рама не разрушалась. На рисунке 8 отражена полученная методом конечных элементов схема деформирования рамы с тяжами по итогам запроектного воздействия при максимальной загрузке объекта. Масштаб представления перемещений здесь увеличен в 8 раз по сравнению с масштабом изображения конструкции.

В таблице сопоставлены результаты теоретического анализа рамы, усиленной тяжами, с экспериментальными данными по значениям модуля максимального во времени вертикального перемещения в точке D ($|V_D|_{\max}$) и модулей перемещений точек D и K после затухания колебаний ($|V'_D|$, $|V'_K|$). Из таблицы 1 видно, что расчетные данные отличаются от экспериментальных на 7-25%, что говорит об удовлетворительном соответствии рассмотренной теоретической модели реальному поведению конструкции.

Таблица 1 – Результаты расчета и эксперимента по вертикальным перемещениям

Этап нагружения	$ V_D _{\max}$, мм		$ V'_D $, мм		$ V'_K $, мм	
	Эксперимент	Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент	Расчет
1	2,05	1,91	1,2	0,96	13	9,29
2	4,52	3,84	2,3	1,67	25	18,96
3	7,31	6,56	3,8	3,42	45	35,90

Выводы

1. Введение страховочных тяжей позволило обеспечить живучесть испытываемой рамной конструкции при быстром удалении средней стойки.
2. Экспериментальные исследования показали, что максимальные значения перемещений и деформаций рамы достигались на втором или третьем периодах основной формы колебаний после запроектного воздействия, что согласуется с положениями работы [9].
3. Получено удовлетворительное соответствие результатов теоретического исследования поведения рассматриваемой рамы при запроектных воздействиях с данными эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колчунов, В.И. Экспериментальные исследования деформативности и трещиностойкости железобетонных конструкций составного сечения [Текст] / В.И. Колчунов, Е.А. Скобелева, Н.В. Ключева и др. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2008. – №1. – С. 54-60.
2. Бондаренко, В.М. Оптимизация живучести конструктивно нелинейных железобетонных рамно-стержневых систем при внезапных структурных изменениях [Текст] / В.М. Бондаренко, Н.В. Ключева, А.Н. Дегтярь и др. // Известия ОрелГТУ. Серия «Строительство. Транспорт». – 2007. – №4. – С. 5-10.
3. Ключева, Н.В. Методика экспериментального определения параметров деформирования и разрушения преднапряженных железобетонных статически неопределимых балочных систем в запредельных состояниях [Текст] / Н.В. Ключева, К.А. Шувалов // Вестник МГСУ. – 2012. – №11. – С. 61-66.
4. Тамразян, А.Г. Рекомендации к разработке требований к живучести зданий и сооружений [Текст] / А.Г. Тамразян // Вестник МГСУ. – 2011. – №2. – Т. 1. – С. 77-83.
5. Колчунов, В.И. Экспериментальные исследования рамно-стержневых конструктивных систем с элементами составного сечения при внезапном выключении связей [Текст] / В.И. Колчунов, С.С. Перелыгин // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2006. – №2. – С. 115-121.
6. Гордон, В.А. Расчет динамических усилий в конструктивно-нелинейных элементах стержневых пространственных систем при внезапных структурных изменениях [Текст] / В.А. Гордон, Н.В. Ключева, Т.В. Потуралева и др. // Строительная механика и расчет сооружений. – 2008. – №6. – С. 26-30.
7. Андросова, Н.Б. К Определению критериев живучести фрагмента пространственно-стержневой системы [Текст] / Н.Б. Андросова, А.С. Бухтиярова, Н.В. Ключева // Строительство и реконструкция. – 2010. – №6. – С. 3-7.
8. Федоров, В.С. Влияние исходного напряженно-деформированного состояния и уровня нагружения на возникающий динамический эффект при аварийном разрушении опоры в неразрезных стальных балках [Текст] / В.С. Федоров, Е.А. Меднов // Строительство и реконструкция. – 2010. – №6. – С. 48-52.
9. Меднов, Е.А. Экспериментальное определение динамического предела текучести стали в условиях за-проектного воздействия на статически неопределимую стержневую систему [Текст] / Е.А. Меднов // Строительство и реконструкция. – 2010. – №6. – С. 39-44.
10. Серпик, И.Н. Генетические алгоритмы оптимизации металлических строительных конструкций: Монография [Текст] / И.Н. Серпик, А.В. Алексейцев, А.А. Лелетко // Под общ. ред. Серпика И.Н. – Брянск: БГИТА, 2010. – 187 с.
11. Серпик, И.Н. Анализ в геометрически, физически и конструктивно нелинейной постановке динамического поведения плоских рам при запроектных воздействиях [Текст] / И.Н. Серпик, Н.С. Курченко, А.В. Алексейцев [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – №10. – С. 49-51.
12. Пат. № 2360076 Российская Федерация, МПК E04B 1/24. Рамный каркас здания повышенной надежности [Текст] / И.Н. Серпик, А.А. Лелетко, А.В. Алексейцев // Бюл. № 18 от 27.06.2009. – 5 с.
13. Пат. № 2426840 Российская Федерация, МПК E04B 1/24. Каркас здания повышенной живучести [Текст] / И.Н. Серпик, А.В. Алексейцев // Бюл. №23 от 20.08.2011 – 9 с.
14. Серпик, И.Н. Об определении рациональных параметров систем адаптации металлических рам к запроектным воздействиям [Текст] / И.Н. Серпик, Н.С. Курченко // Строительство и реконструкция. – 2012. – №6. – С. 56-62.
15. Deb, K. Optimization for engineering design [Text] / K. Deb. – New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited, 2005. – 383 p.
16. Справочник по динамике сооружений [Текст] / Под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1972. – 511 с.
17. Кохан, Л.С. Выбор натяжения при тонколистовой холодной прокатке композиционных материалов [Текст] / Л.С. Кохан, А.В. Шульгин, С.С. Хламкова // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2015. – №3.

А.В. Алексейцев

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство»
E-mail: aalexw@mail.ru

И.Н. Серпик

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Механика»
E-mail: iserpik@online.debryansk.ru

A. ALEKSEYTSEV, I. SERPIK

**EXPERIMENTAL AND THEORETICAL ANALYSIS
OF THE EMERGENCY ACTION ON STEEL FRAME
WITH SAFETY TENSION BARS**

The experimental studies and estimates of survivability of the dual-span steel frame equipped with the safety tension bars are performed. The rapid removal of the central pillar from the structural layout was considered as the emergency action. A technique for testing and collecting experimental data is described. The results of measurements of strains and displacements are shown. Calculations were carried out on the basis of the direct method to numerical integrate of differential equations of motion taking into account the physical and geometrical nonlinearities. We reached a satisfactory agreement between the calculated and experimental data.

Keywords: steel frame, emergency actions, experiment, calculation, data collection system, nonlinearity dynamics, safety tension bars.

BIBLIOGRAPHY

1. Kolchunov, V.I. Jeksperimental'nye issledovaniya deformativnosti i treshhinostjokosti zhelezobetonnyh konstrukcij sostavnogo sechenija [Tekst] / V.I. Kolchunov, E.A. Skobeleva, N.V. Kljueva i dr. // Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. – 2008. – №1. – S. 54-60.
2. Bondarenko, V.M. Optimizacija zhivuchesti konstruktivno nelinejnyh zhelezobetonnyh ramno-sterzhnevnyh sistem pri vnezapnyh strukturnykh izmenenijah [Tekst] / V.M. Bondarenko, N.V. Kljueva, A.N. Degtjar' i dr. // Izvestija OrelGTU. Serija «Stroitel'stvo. Transport». – 2007. – №4. – S. 5-10.
3. Kljueva, N.V. Metodika jeksperimental'nogo opredelenija parametrov deformirovaniya i razrusheniya prednaprjazhennyh zhelezobetonnyh staticheski neopredelimyh balochnykh sistem v zapredel'nyh sostojanijah [Tekst] / N.V. Kljueva, K.A. Shuvalov // Vestnik MGSU. – 2012. – №11. – S. 61-66.
4. Tamrazjan, A.G. Rekomendacii k razrabotke trebovanij k zhivuchesti zdaniy i sooruzhenij [Tekst] / A.G. Tamrazjan // Vestnik MGSU. – 2011. – №2. – T. 1. – S. 77-83.
5. Kolchunov, V.I. Jeksperimental'nye issledovaniya ramno-sterzhnevnyh konstruktivnyh sistem s jelementami sostavnogo sechenija pri vnezapnom vykljuchenii svjazej [Tekst] / V.I. Kolchunov, S.S. Perelygin // Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. – 2006. – №2. – S. 115-121.
6. Gordon, V.A. Raschet dinamicheskikh usilij v konstruktivno-nelinejnyh jelementah sterzhnevnyh prostranstvennyh sistem pri vnezapnyh strukturnykh izmenenijah [Tekst] / V.A. Gordon, N.V. Kljueva, T.V. Poturaeva i dr. // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 2008. – №6. – S. 26-30.
7. Androsova, N.B. K Opredeleniju kriteriev zhivuchesti fragmenta prostranstvenno-sterzhnevoj sistemy [Tekst] / N.B. Androsova, A.S. Buhtjarova, N.V. Kljueva // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2010. – №6. – S. 3-7.
8. Fedorov, V.S. Vlijanie ishodnogo naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija i urovnja nagruzhenija na vznikajushhij dinamicheskij jeffekt pri avariynom razrushenii opory v nerazreznyh stal'nyh balkah [Tekst] / V.S. Fedorov, E.A. Mednov // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2010. – №6. – S. 48-52.
9. Mednov, E.A. Jeksperimental'noe opredelenie dinamicheskogo predela tekuchesti stali v uslovijah zaproektnogo vozdeystvija na staticheski neopredelimuju sterzhnevuju sistemu [Tekst] / E.A. Mednov // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2010. – №6. – S. 39-44.
10. Serpik, I.N. Geneticheskie algoritmy optimizacii metallicheskih stroitel'nyh konstrukcij: Monografija [Tekst] / I.N. Serpik, A.V. Aleksejcev, A.A. Leletko // Pod obshh. red. Serpika I.N. – Brjansk: BGITA, 2010. – 187 s.
11. Serpik, I.N. Analiz v geometricheski, fizicheski i konstruktivno nelinejnoj postanovke dinamicheskogo povedenija ploskikh ram pri zaproektnykh vozdeystvijah [Tekst] / I.N. Serpik, N.S. Kurchenko, A.V. Aleksejcev [i dr.] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2012. – №10. – S. 49-51.
12. Pat. № 2360076 Rossijskaja Federacija, MPK E04/V 1/24. Ramnyj karkas zdaniya povyshennoj nadezhnosti [Tekst] / I.N. Serpik, A.A. Leletko, A.V. Aleksejcev // Bjul. № 18 ot 27.06.2009. – 5 s.
13. Pat. № 2426840 Rossijskaja Federacija, MPK E04V 1/24. Karkas zdaniya povyshennoj zhivuchesti [Tekst] / I.N. Serpik, A.V. Aleksejcev // Bjul. №23 ot 20.08.2011 – 9 s.
14. Serpik, I.N. Ob opredelenii racional'nyh parametrov sistem adaptacii metallicheskih ram k zaproektnym vozdeystvijam [Tekst] / I.N. Serpik, N.S. Kurchenko // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2012. – №6. – S. 56-62.
15. Deb, K. Optimization for engineering design [Text] / K. Deb. – New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited, 2005. – 383 p.
16. Spravochnik po dinamike sooruzhenij [Tekst] / Pod red. B.G. Koreneva, I.M. Rabinovicha. – M.: Strojizdat, 1972. – 511 s.
17. Kohan, L.S. Vybor natjazhenija pri tonkolistovoj holodnoj prokatke kompozicionnyh materialov [Tekst] / L.S. Kohan, A.V. Shul'gin, S.S. Hlamkova // Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. – 2015. – №3.

A. Aleksejcev

Bryansk state academy of engineering and technology, Bryansk
Candidate of technical sciences, associate professor of the department «Construction production»
E-mail: aalexw@mail.ru

I. Serpik

Bryansk state academy of engineering and technology, Bryansk
Doctor of technical sciences, professor, head of the department «Mechanics»
E-mail: iserpik@online.debryansk.ru

КАРЕЛЬСКИЙ А.В., ЛАБУДИН Б.В., МЕЛЕХОВ В.И.

ИСПЫТАНИЕ НА СДВИГ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, СОЕДИНЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЗУБЧАТЫМИ ПЛАСТИНАМИ

Приводятся результаты испытаний на сдвиг деревянных образцов, соединенных металлическими зубчатыми пластинами (МЗП) типов GNA-20 и T-150 фирмы МИТЕК под углами 0° и 90°. Установлен тип разрушения соединений – пластический. Определен коэффициент надежности при пластическом разрушении. Экспериментально получено расчетное сопротивление соединений с учетом длительности действия нагрузок. Вычислены единичный коэффициент податливости и приведенные модули упругости, предложенные В.Г. Котловым. Определен модуль сдвига соединений на МЗП.

Ключевые слова: *металлические зубчатые пластины, составные деревянные балки, сдвиг, расчетное сопротивление, податливость, приведенный модуль упругости.*

В 70...90-х годах прошлого столетия получили широкое распространение соединения стержневых деревянных конструкций из пиломатериалов на металлических зубчатых пластинах (МЗП). Им предшествовали серьезные исследования, проводимые как за рубежом, так и в СССР (В.Г. Леннов, В.Г. Миронов, А.К. Наумов, В.А. Цапаев, В.Г. Котлов и др.). На основе этих исследований в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко были разработаны «Рекомендации по проектированию и изготовлению дощатых конструкций с соединениями на металлических зубчатых пластинах» [2].

Проектировщикам и строителям предлагается достаточно большой выбор различных видов стальных коннекторов. Однако для зарубежных изделий в виде МЗП исходные данные для проектирования ограничены, отсутствуют расчетные характеристики и не приведены параметры податливости соединения.

Цель настоящей работы является определение расчетной несущей способности соединения элементов деревянных конструкций на МЗП, параметров податливости и приведенного модуля упругости соединения. В работе представлены результаты испытаний на сдвиг наиболее распространенных МЗП фирмы MiTek (<http://www.mitek.ru>), продукция которой на сегодняшний день занимает около 76% мирового рынка производства МЗП и имеет сертификаты на все изделия.

Для исследования выбраны пластины GNA 20-MIT и T150-MIT. Пластины GNA 20-MIT изготавливаются из стального листа толщиной 1 мм, оцинкованного методом горячего цинкования с защитным слоем плотностью 275 г/м², на которой выштампованы зубья высотой 8 мм. Шаг зубьев в продольном направлении 12 мм, в поперечном направлении 7 мм (рис. 1). Зубья развернуты вокруг своей оси.

Испытание соединения «МЗП-древесина» на сдвигоустойчивость выполнялись в соответствии с требованиями «Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций» [1], по которым определялись исследуемые параметры для других видов соединений деревянных конструкций [5].

Для изготовления модели (рис. 3) при испытании на сдвиг применялся составной пакет из трех досок сечением 240×105×35 мм (1), при этом средняя доска смещалась относительно крайних на 30 мм.

Стык накладками из МЗП (2) выполнен двусторонним. Размеры МЗП заданы таким образом, чтобы сдвиг произошел по средней доске пакета. Размеры МЗП приведены в таблице 1. Рассмотрены два положения пластин при запрессовке: 0° и 90° (рис. 3). Для каждого вида испытаний принимаем по 6 образцов.

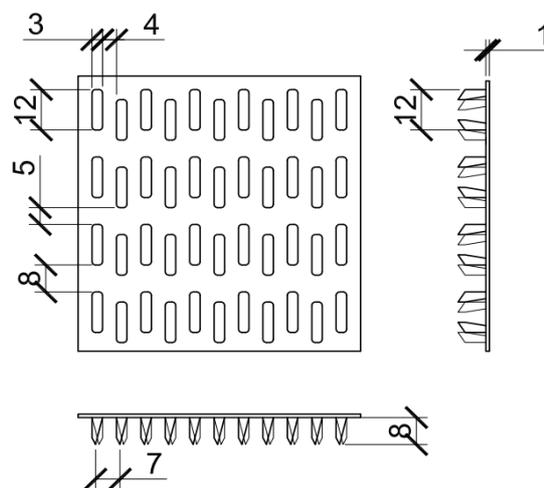
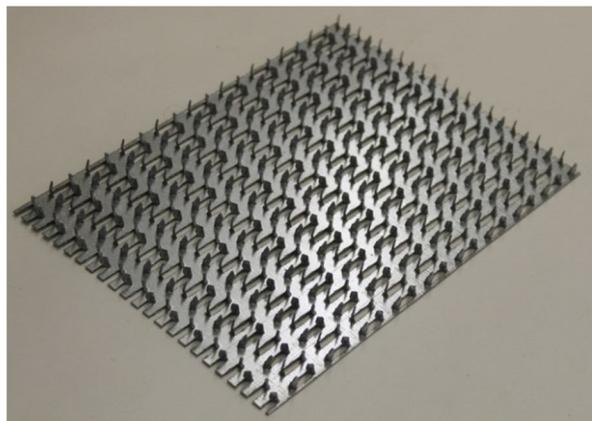


Рисунок 1 – Общий вид и конструкция МЗП марки GNA 20-MIT

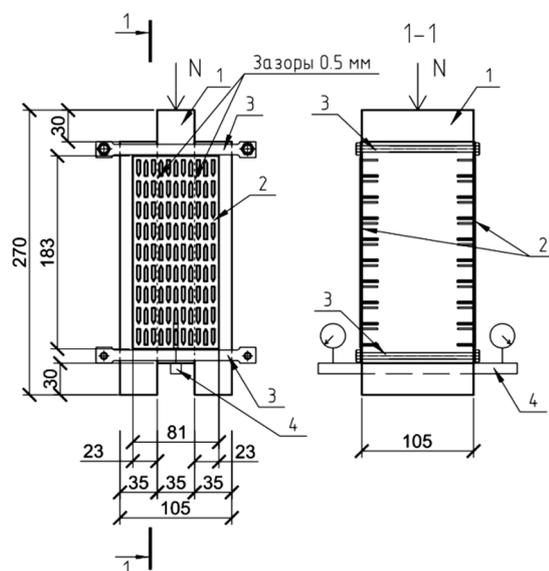
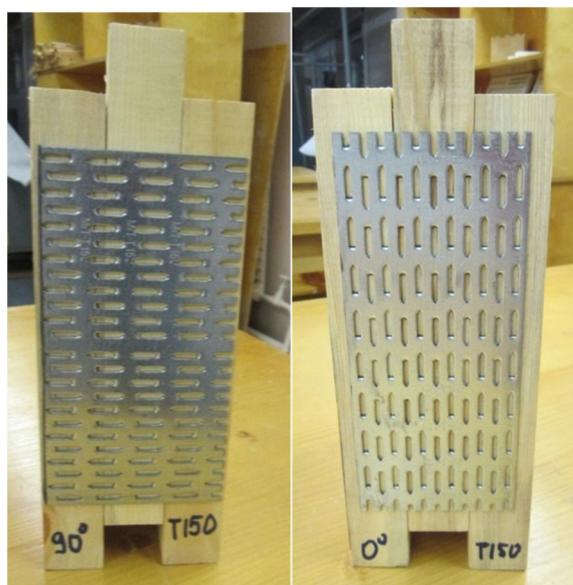


Рисунок 3 – Опытные образцы с МЗП, установленные под углом 0° и 90° соответственно (1 – доска $240 \times 105 \times 35$; 2 – МЗП марки T150-MIT; 3 – сжимающие хомуты из стальных полос, стянутых шпильками; 4 – индикаторы часового типа)

Пластины T150-MIT (рис. 4) изготавливаются из стального термически оцинкованного листа толщиной 1,5 мм, на котором выштампованы зубья высотой 15 мм. Шаг зубьев в продольном направлении 20 мм, в поперечном направлении 7 мм.

С целью исключения влияние сил трения, между досками пакета оставлялся зазор 0,5 мм. Для исключения кручения средней доски относительно крайних перед испытанием пакет стягивается при помощи хомутов. К средней доске снизу прикреплялась планка для фиксации деформаций индикаторами часового типа, которые установлены на отдельных жестких опорах.

Основные размеры опытных образцов приведены в таблице 1.

Испытание производилось на прессе P10 с максимальной шкалой 100 кН. Шаг ступеней принят 5 кН. Общая продолжительность испытания определялась по формуле [1]:

$$t_1' = n^2 t',$$

где n – число ступеней нагружения; t' – продолжительность, сек.

Отсюда, продолжительность загрузки на величину одной ступени составляло 10..15 сек., а выдержка между загрузками принималась около 2 минут.

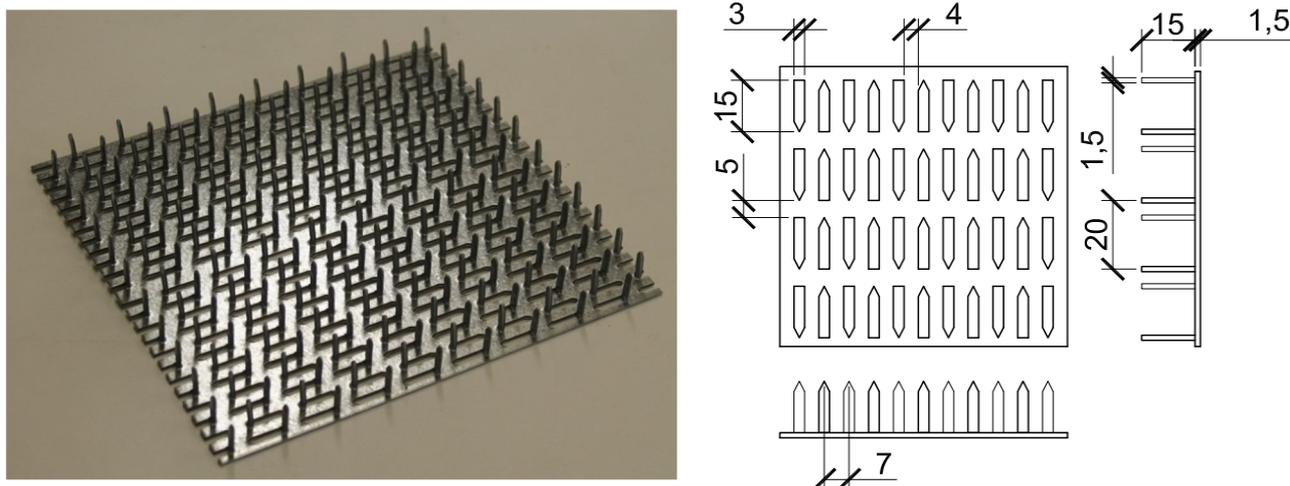


Рисунок 4 – Общий вид и конструкция МЗП марки T150-MIT

Таблица 1 – Размеры МЗП для испытаний

Параметр	T150-MIT		GNA20	
	0°	90°	0°	90°
Ширина, мм	81	90	90	90
Длина, мм	183	175	200	155
Толщина, мм	1,5		1	
Высота зуба, мм	15		8	
Количество зубьев на крайней доске	27	36	40	66
Количество зубьев на средней доске	45	36	50	66

В соответствии с рекомендациями ЦНИИСК [1], соединение с МЗП относится к II группе соединений, то есть с нелинейной зависимостью нагрузки от прилагаемого усилия. Образцы с таким соединением испытываются ступенями по мере возрастания нагрузки с фиксацией остаточных деформаций. Обработку результатов следует выполнять с вычислением полной (Dn), остаточной (Do), остаточной за цикл (do) и упругой деформации (Dy). Строят диаграмму зависимости Dy - do . Далее определяют значение Dy соответствующее верхней границе области упругой деформации и строят диаграмму $N - Dy$, по которой определяют усилие M -II, соответствующее верхней границе упругой работы соединения. Однако по построенным диаграммам определить требуемые параметры не представилось возможным ввиду хаотичного расположения полученных значений, поэтому анализ результатов было решено выполнять по стандартной зависимости N - f , применяемой для I группы соединений (рис. 5).

Разрушение образцов с МЗП T-150, установленных под углом 0°, произошло вследствие выдергивания зубьев МЗП из средних элементов соединений, а установленных под углом 90° произошло вследствие смятия древесины под зубьями МЗП. Характер разрушения во всех образцах – пластичный. Разрушение образцов с МЗП GNA-20, в обоих случаях произошло вследствие выдергивания зубьев МЗП из средних элементов соединений.

При пластичном разрушении коэффициент надежности определялся в соответствии с исследованиями [3]:

$$k_{nn} = 1,54 \cdot (1,61 - 0,094 \cdot \lg t),$$

$$t = \frac{t'_1}{38,2},$$

где t – приведенная к неизменному действию разрушающего усилия Nt продолжительность нагружения до разрушения, сек; t'_1 – продолжительность испытания, сек.

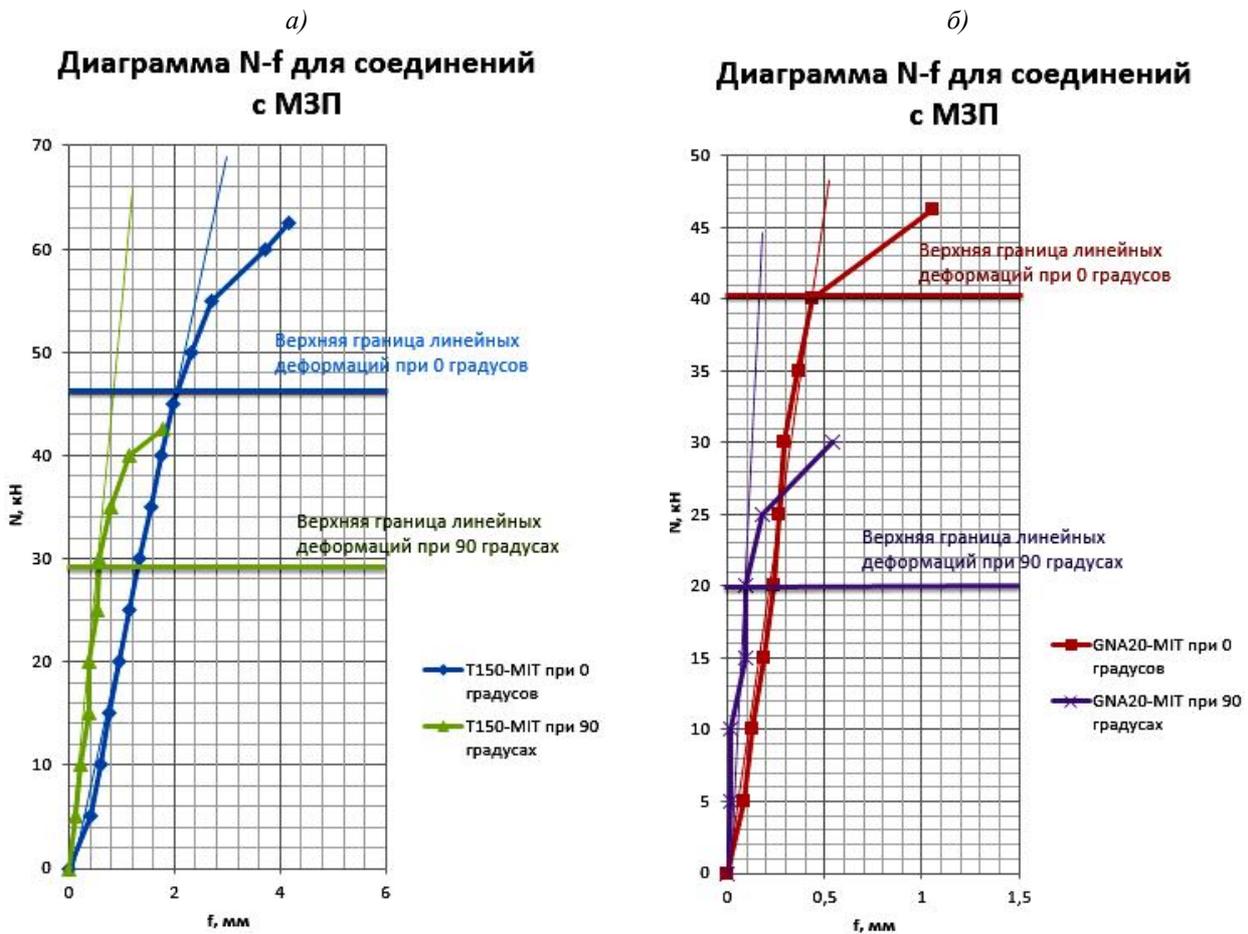


Рисунок 5 – Диаграмма зависимости N-f при испытании на сдвиг соединения элементов деревянных конструкций на МЗП при углах 0 и 90 градусов (а – для T-150; б – для GNA-20)

Разрушающее усилие N_t и величина деформации δ_t , соответствующая N_t , определялись по показаниям измерительного оборудования. Усилие N_{I-II} , соответствующее верхней границе упругой работы соединения, и величина деформации δ_{I-II} , соответствующая N_{I-II} , определялись по диаграммам на рисунке 5. Несущая способность испытываемого соединения с учетом длительных воздействий:

$$N_{II} = \frac{N_t}{k_{nl}}$$

Несущая способность соединения R на 1 см²:

$$R = \frac{N_{II}}{A}$$

где A – площадь сечения МЗП для средней доски при двухстороннем соединении, см².

Деформативность соединения оценивалась по единичной податливости, предложенной В.Г. Котловым [4]:

$$\bar{\delta}_A = \frac{\delta}{NA}$$

где N – усилие, действующее на соединение, кН; A – площадь соединения, см².

Модуль сдвига соединения определялся:

$$G_c = \frac{\tau}{\varepsilon} = \frac{Nl}{\delta A}$$

Приведенный модуль упругости определялся с учетом единичной податливости [4]:

$$E_{np} = E' / \left[1 + \left(E' \cdot F \cdot \bar{\Delta}_A \cdot A / l \right) \right]$$

где $E' = 300 \cdot R_c$ – касательный модуль упругости древесины, кН/см^2 ; R_c – сопротивление сжатию, кН/см^2 ; $\bar{\Delta}_A$ – податливость на единицу площади соединения, кНсм^{-1} ; F – площадь сечения элемента с соединением, см^2 ; l – длина соединения, см.

Результаты исследований после статистической обработки приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследования МЗП на сдвиг

№	Параметр	T150- MIT при 0 градусов	T150- MIT при 90 градусах	GNA20- MIT при 0 градусов	GNA20- MIT при 90 градусах
1	Разрушающее усилие Nt , кН	62,50	46,25	42,50	32,50
2	Деформации δt , мм	4,20	1,80	1,13	0,60
3	Усилие, соответствующее верхней границе области линейных деформаций N_{I-II} , кН	46,10	28,90	41,10	19,90
4	Деформации δ_{I-II} , мм	2,38	0,60	0,40	0,10
5	Единичная податливость, соответствующее верхней границе области линейных деформаций, $\text{кНсм}^{-1} \times 10^{-6}$	40,30	16,95	6,95	4,63
6	Модуль сдвига соединения, МПа	156,80	229,37	519,60	473,81
7	Приведенный модуль упругости $E_{пр}$, МПа	773,29	1444,26	2297,57	2662,73
8	Продолжительность испытаний, сек	810,00	360,00	1690,00	810,00
9	Приведенная к неизменному действию разрушающего усилия N_i продолжительность испытаний, сек	21,20	9,42	44,24	21,20
10	Коэффициент надежности, $K_{пл}$	2,29	2,34	2,24	2,29
11	Несущая способность соединения, $N_{п}$, кН	2,13	1,61	1,35	1,31

Наибольшая несущая способность у пластин T-150, установленных под углом 0° , но при этом наблюдается наибольшая податливость соединения (почти в три раза больше, чем при 90°). Это объясняется разной для каждого направления жесткостью зуба пластины. Для GNA-20 зубья выполнены с разворотом вокруг своей оси и ориентированы в разные стороны, что делает податливость соединения более одинаковой и менее зависящей от ориентации пластины. Более жесткая конструкция зуба GNA-20 позволяет значительно уменьшить податливость соединения, по сравнению с T-150.

Выводы

1. Металлические зубчатые пластины системы MiTek могут применяться в качестве сдвигоустойчивых соединений деревянных составных конструкций с использованием результатов, приведенных в таблице 2.

2. Определены новые параметры сдвигоустойчивости МЗП в зависимости от угла направления пластин к волокнам древесины, в том числе единичная податливость, модуль сдвига соединения, приведенный модуль упругости соединения, расчетная несущая способность соединения МЗП на единицу площади.

3. При проектировании конструкций с соединениями на МЗП рекомендуется использовать пластины GNA-20.

4. Несущая способность единицы площади МЗП в зависимости от расположения зубьев по отношению к направлению усилий сдвига отличается в 1,1..1,3 раза и должна учитываться расчетом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций [Текст]. – М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1980. – 40с.
2. Рекомендации по проектированию и изготовлению дощатых конструкций с соединениями на металлических зубчатых пластинах [Текст]. – М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1983. – 40 с.

3. Цапаев, В.А. Коэффициенты надежности соединений деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах [Текст] / В.А. Цапаев, М.В. Колобов // Жилищное строительство. – 2008. – №5. – С. 26-27.
4. Котлов, В.Г. Пространственные конструкции из деревянных ферм с узловыми соединениями: на металлических зубчатых пластинах [Текст]: дисс. канд. техн. наук. – Казань, 1991. – 191 с.
5. Орлович, Р.Б. Деформативность упругоподатливых соединений в деревянных конструкциях при длительных воздействиях [Текст] / Р.Б. Орлович, Б.В. Лабудин // Лесной журнал. – Архангельск. – 1993. – №1. – С. 78-82.

А.В. Карельский

Северный Арктический федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск
Аспирант, старший преподаватель кафедры «Инженерные конструкции и архитектура»

Б.В. Лабудин

Северный Арктический федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск
Доктор технических наук, профессор кафедры «Инженерные конструкции и архитектура»
E-mail: labudin@hotmail.ru

В.И. Мелехов

Северный Арктический федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск
Доктор технических наук, профессор кафедры «Древесиноведение и технология деревообработки»
E-mail: v.melekhov@narfu.ru

A. KARELSKIY, B. LABUDIN, V. MELEHOV

**SHEAR TEST ELEMENTS OF WOODEN STRUCTURES,
UNITED PUNCHED METAL PLATE FASTENERS**

Results of shear test wooden samples connected with punched metal plate fasteners GNA-20 and T-150 types (firm MITEK) for angles 0° and 90° are presented in this article. There was observed type of fracture of connections – ductile. The reliability coefficient for ductile fracture was determined. The design value of resistance of connection considering duration of load was obtained experimentally. Also unity coefficient of compliance and reduced modulus of elasticity, proposed V.G. Kotlov, were calculated. The shear modulus of connections with punched metal plate fasteners was determined.

Keywords: punched metal plate fasteners, composite wooden beams, shear, design value of resistance, compliance, reduced modulus of elasticity.

1. Rekomendacii po ispytaniyu soedinenij derevjannyh konstrukcij [Tekst]. – М.: CNIISK im. V.A. Kucherenko, 1980. – 40s.
2. Rekomendacii po proektirovaniyu i izgotovleniju doshatyh konstrukcij s soedinenijami na metallicheskih zubchatyh plastinah [Tekst]. – М.: CNIISK im. V.A. Kucherenko, 1983. – 40 s.
3. Цапаев, В.А. Коэффициенты надежности соединений деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах [Текст] / В.А. Цапаев, М.В. Колобов // Жилищное строительство. – 2008. – №5. – С. 26-27.
4. Kotlov, V.G. Prostranstvennye konstrukcii iz derevjannyh ferm s uzlovymi soedinenijami: na metallicheskih zubchatyh plastinah [Tekst]: diss. kand. tehn. nauk. – Kazan', 1991. – 191 s.
5. Orlovich, R.B. Deformativnost' uprugopodatlivyh soedinenij v derevjannyh konstrukcijah pri dlitel'nyh vozdeystvijah [Tekst] / R.B. Orlovich, B.V. Labudin // Lesnoj zhurnal. – Arhangel'sk. – 1993. – №1. – С. 78-82.

A. Karelskiy

Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk
Postgraduate student, senior lector of the department «Engineering constructions and architecture»

B. Labudin

Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk
Doctor of technical sciences, professor of the department «Engineering constructions and architecture»
E-mail: labudin@hotmail.ru

V. Melekhov

Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk
Doctor of technical sciences, professor of the department «Wood science and timber production technology»
E-mail: v.melekhov@narfu.ru

КОРОБКО А.В., ПРОКУРОВ М.Ю., ЧЕРНЯЕВ А.Ю.

РАЗВИТИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ РАСЧЁТА ПЛАСТИНЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИХ ФОРМЫ

Приводится краткая информация о состоянии работ по разработке программного комплекса для решения некоторых двумерных задач строительной механики и теории упругости с помощью метода интерполяции по коэффициенту формы и отношению внешнего к внутреннему конформных радиусов. К числу возможных решаемых задач этим методом относятся: определение максимального прогиба и основной частоты колебаний упругих пластинок, разрушающей нагрузки, находящейся в предельном состоянии, приведенной геометрической жесткости сечений при чистом кручении упругих брусьев.

Ключевые слова: упругие пластинки, поперечный изгиб, свободные колебания, чистое кручение, коэффициент формы, отношение внешнего и внутреннего конформных радиусов.

Пластинчатые элементы различной формы находят широкое применение в строительстве и машиностроении в качестве несущих и ограждающих конструкций.

Для решения задач расчёта и проектирования пластинчатых конструкций известен ряд методов, имеющих отдельные недостатки и ограничения [8, 9 и др.]. Использование прямых расчётных методов сопряжено с математическими трудностями решения дифференциальных уравнений и ограничено рядом частных решений для пластинок простейших форм и условий закрепления. Применение универсальных программных комплексов, основанных на МКЭ, представляется достаточно громоздким при вариантном проектировании и ориентировано исключительно на использование ЭВМ, что зачастую приводит к потере физического смысла решаемой задачи.

Указанные трудности определяют перспективу развития геометрических методов расчёта, позволяющих получить оперативную оценку физических характеристик пластинок на основе двусторонней ограниченности возможных решений при геометрическом моделировании области, очерченной их внешним контуром.

Одним из эффективных геометрических методов является метод интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ), где в качестве основного аргумента, по которому оцениваются полученные решения, принята безразмерная геометрическая характеристика плоской односвязной выпуклой области – коэффициент формы, в общем виде представляющий собой интеграл [1]:

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

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

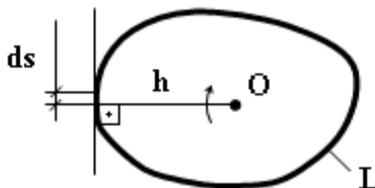


Рисунок 1

Впервые к расчёту пластинок коэффициент формы был применён профессором В.И. Коробко.

Для проведения численных исследований задач теории упругости с аргументом в виде коэффициента формы и создания специализированных программных комплексов, разработана

программа KfGeometry*, реализующая алгоритмы вычисления данной геометрической характеристики для отдельных классов выпуклых односвязных типичных и произвольных областей, ограниченных прямолинейным, дугообразным и смешанным контуром.

Исследованиями установлено, что коэффициент формы является геометрическим аналогом в задачах поперечного изгиба пластинок. Максимальный прогиб линейно деформируемой пластинки, вызванный действием нагрузки q , равномерно распределённой по её площади A , определяется выражением:

$$w_0 = k_w \frac{qA^2}{D}, \quad (2)$$

где $k_w = f(K_f)$ – значение некоторой функции, установленное аналитически или определённое путём интерполяции; D – цилиндрическая жёсткость пластинки.

Выражение (2) получило реализацию в программе KfDeflection† по определению максимальных прогибов упругих изотропных пластинок в форме различных видов треугольников, параллелограммов, трапеций, а также правильных многоугольников и эллипсов с различными комбинациями граничных условий в виде жёсткого защемления и шарнирного опирания.

Разработанное программное обеспечение использует МИКФ для рассматриваемой плоской замкнутой области, моделируемой путём геометрических преобразований пластинок с известными или аналитически рассчитываемыми характеристиками. Интерполяция искомых решений предусматривает использование аффинных геометрических преобразований и симметризации соответствующих расчётных областей, ограниченных выпуклым замкнутым контуром «базовых» пластинок.

Рассмотренная задача распространена на пластинки, выполненные из ортотропного материала, для которых максимальный прогиб определяется изопериметрическим выражением:

$$w_0 = f(K_f; D_x/H; D_y/H) \frac{qA^2}{H}, \quad (3)$$

где $H = D_x \nu_y + 2D_{xy}$; ν – коэффициент Пуассона; D_x, D_y, D_{xy} – цилиндрические жёсткости; $f(K_f; D_x/H; D_y/H)$ – некоторая функция, соответствующая пластинкам определённого класса формы, зависящая от геометрических параметров очертания и соотношения цилиндрических жесткостей.

Расчёт максимального прогиба ортотропных пластинок реализован в соавторстве с аспирантом С.Ю. Савиным в программе OrthPlate‡, для пластинок в виде произвольных треугольников, прямоугольников, ромбов, параллелограммов, равнобоких трапеций и правильных многоугольников с различными комбинациями граничных условий, нагруженных равномерно распределённой нагрузкой [4].

Другим возможным приложением коэффициента формы в инженерных расчётах является определение предельного значения сосредоточенной нагрузки для пластинок из упруго-пластического материала [2].

Установлено, что коэффициент формы области, ограниченной криволинейным пластическим шарниром и участками заданного контура шарнирно опертой прямоугольной пластинки, с полюсом в точке приложения сосредоточенной нагрузки, определяет её предельное значение:

$$P_{разр} = K_f(K_f^*) \times m_T, \quad (4)$$

где m_T – предельный погонный момент в шарнире текучести. В данном выражении величина K_f^* принимается вместо K_f в случае образования криволинейного краевого шарнира текучести.

На основе выражения (4) в соавторстве с аспирантом С.А. Морозовым разработана программа RPlate§, использующая аналитический подход к определению схемы разрушения на

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

† Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013612545 от 05.03.2013 г.

‡ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013613307 от 01.04.2013 г.

§ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011615411 от 12.07.2011 г.

основе приближенных функций, описывающих граничные линии её локализации [6]. При этом рассматривается определенный набор возможных форм разрушения прямоугольной пластинки, зависящий от величины соотношения её сторон.

Аналогичную задачу решает программа RPlateLogic^{*}, использующая логический блок идентификации схемы разрушения на основе определения минимального значения возможной разрушающей нагрузки, что позволило существенно оптимизировать реализацию расчётного алгоритма [5].

Альтернативным аргументом геометрических методов расчёта пластинчатых конструкций является \dot{r}/\bar{r} – отношение внутреннего и внешнего конформных радиусов, получаемых при отображении односвязной выпуклой области пластинки на внутренность и внешность круга. Для типичных фигур искомое отношение определяется известными формулами математической физики.

Установлена аналогия максимального прогиба при поперечном изгибе пластинок, вызванном действием равномерно распределённой нагрузки, действующей по всей их площади, с величиной \dot{r}/\bar{r} определённой для областей, ограниченных их контуром, соответствующая выражению (2) при $k_w = f(\dot{r}/\bar{r})$.

Исследования, связанные с использованием аргумента в виде отношения конформных радиусов, и соответствующие программные разработки выполнены в соавторстве с аспирантом А.А. Черняевым.

Определение максимальных прогибов упругих изотропных пластинок с использованием аргумента \dot{r}/\bar{r} реализовано в программном комплексе RRMaximalDeflectionPlate[†] для следующих видов очертаний контура: треугольники (равнобедренные, прямоугольные, произвольные); ромбы; прямоугольники; трапеции (равнобедренные, прямоугольные, произвольные); правильные многоугольники; эллипсы [3].

Задача реализуется аналогично МИКФ путём интерполяции решения для рассматриваемой пластинки, получаемой геометрическим преобразованием «базовых» фигур с известными значениями максимального прогиба.

Последующая модернизированная разработка – программа RRMaximalDeflectionPlateGraphic[‡] дополнена графической интерпретацией положения искомого решения среди множества решений для пластинок выбранного класса форм и позволяет наглядно оценить качественную и количественную стороны изменения прогиба при варьировании геометрических параметров и формы пластинки [7].

Разработанное программное обеспечение прошло необходимую апробацию, имеются акты внедрения в учебный процесс в ФГБОУ ВПО «ГУ-УНПК» и ФГБОУ ВПО «БГИТА».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости [Текст] / А.В. Коробко. – М.: АСВ, 1999. – 304 с.
2. Коробко, А.В. Использование коэффициента формы для определения несущей способности прямоугольных пластинок из упругопластического материала [Текст] / А.В. Коробко, М.Ю. Прокуров // Вестн. БГТУ. – 2012. – №1. – С. 54-61.
3. Коробко, А.В. Программа определения максимального прогиба изгибаемых пластинок с использованием отношения конформных радиусов, отображённых на круг областей, ограничивающих их контуры [Текст] / А.В. Коробко, М.Ю. Прокуров, А.А. Черняев // Строительство и реконструкция. – Орел: «Госуниверситет – УНПК». – 2012. – №3. – С. 17-24.
4. Коробко, А.В. Программа определения максимального прогиба упругих ортотропных пластинок на основе метода интерполяции по коэффициенту формы [Текст] / А.В. Коробко, М.Ю. Прокуров, С.Ю. Савин // Строительство и реконструкция. – Орел: «Госуниверситет – УНПК». – 2012. – №6. – С. 35-41.

* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610431 от 10.01.2012 г.

† Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012619163 от 11.10.2012 г.

‡ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013613173 от 27.03.2013 г.

5. Коробко, А.В. Программа определения несущей способности шарнирно опертых прямоугольных пластинок из упругопластического материала, нагруженных произвольно приложенной сосредоточенной силой [Текст] / А.В. Коробко, М.Ю. Прокуров, Н.Г. Калашникова // Вестник отделения строительных наук РААСН. – Вып. 16. – Т. 1. – Москва, 2012. – С. 142-148.

6. Коробко, В.И. Расчёт прямоугольных шарнирно опертых пластинок, нагруженных произвольно приложенной сосредоточенной силой, методом предельного равновесия [Текст] / В.И. Коробко, С.А. Морозов, М.Ю. Прокуров // Строительная механика и расчет сооружений. – 2011. – №2. – С. 2-8.

7. Korobko, A.V. Algorithm and computer program by calculation of plates from a rigidity condition at a cross bend [Text] / A.V. Korobko, A.A. Chernyaev, M.Yu. Prokurov // Eastern European Scientific Journal. – 2013. – №4. – P. 55-58.

8. Кохан, Л.С. Выбор натяжения при тонколистовой холодной прокатке композиционных материалов [Текст] / Л.С. Кохан, А.В. Шульгин, С.С. Хламкова // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2015. – №3.

9. Галимов, Н.К. Нелинейное деформирование круглой пластины, шарнирно опертой на кольцевой опоре и нагруженной распределенной силой по краю [Текст] / Н.К. Галимов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2015. – №2.

А.В. Коробко

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая и прикладная механика»
Тел.: +7 (4862) 76-03-72
E-mail: oantc@ostu.ru

М.Ю. Прокуров

ФГБОУ ВПО «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

А.А. Черняев

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл
Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции и материалы»
Тел.: +7 (4862) 73-43-49
E-mail: chernyev87@yandex.ru

V. KOROBKO, M. PROKUROV, A. CHERNYAEV

DEVELOPMENT OF TECHNICAL DESIGN THEORY LAMELLAR STRUCTURES BASED ON THE METHODS OF GEOMETRIC MODELING THEIR SHAPES

Brief information about the status of works on development of software for the solution of some two-dimensional problems of structural mechanics and theory of elasticity by using the interpolation method on the form factor and the ratio of external to internal conformal radii. Among the possible tasks this method includes: determining a maximum St depression and the fundamental frequency of vibrations of elastic plates, breaking load, which is in marginal condition, given the geometric rigidity of the sections under pure torsion elastic-other bars.

Keywords: *elastic lamina, transverse bending, free vibration, pure torsion, the shape factor, the ratio of external and internal conformal radii.*

BIBLIOGRAPHY

1. Korobko, A.V. Geometricheskoe modelirovanie formy oblasti v dvumernyh zadachah teorii uprugosti [Tekst] / A.V. Korobko. – М.: ASV, 1999. – 304 s.

2. Korobko, A.V. Ispol'zovanie koeficienta formy dlja opredelenija nesushhej sposobnosti prjamougol'nyh plastinok iz uprugoplasticheskogo materiala [Tekst] / A.V. Korobko, M.Ju. Prokurov // Vestn. BGTU. – 2012. – №1. – S. 54-61.
3. Korobko, A.V. Programma opredelenija maksimal'nogo progiba izgibaemyh plastinok s ispol'zovaniem otnoshenija konformnyh radiusov, otobrazhjonnyh na krug oblasti, ogranichivajushhih ih kontury [Tekst] / A.V. Korobko, M.Ju. Prokurov, A.A. Chernjaev // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: «Gosuniversitet – UNPK». – 2012. – №3. – S. 17-24.
4. Korobko, A.V. Programma opredelenija maksimal'nogo progiba uprugih ortotropnyh plastinok na osnove metoda interpoljacji po koeficientu formy [Tekst] / A.V. Korobko, M.Ju. Prokurov, S.Ju. Savin // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: «Gosuniversitet – UNPK». – 2012. – №6. – S. 35-41.
5. Korobko, A.V. Programma opredelenija nesushhej sposobnosti sharnirno opertyh prjamougol'nyh plastinok iz uprugoplasticheskogo materiala, nagruzhenykh proizvol'no prilozhennoj sosredotochennoj siloj [Tekst] / A.V. Korobko, M.Ju. Prokurov, N.G. Kalashnikova // Vestnik otdelenija stroitel'nyh nauk RAASN. – Vyp. 16. – T. 1. – Moskva, 2012. – S. 142-148.
6. Korobko, V.I. Raschjot prjamougol'nyh sharnirno opertyh plastinok, nagruzhenykh proizvol'no prilozhennoj sosredotochennoj siloj, metodom predel'nogo ravnovesija [Tekst] / V.I. Korobko, S.A. Morozov, M.Ju. Prokurov // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 2011. – №2. – S. 2-8.
7. Korobko, A.V. Algorithm and computer program by calculation of plates from a rigidity condition at a cross bend [Text] / A.V. Korobko, A.A. Chernyaev, M.Yu. Prokurov // Eastern European Scientific Journal. – 2013. – №4. – P. 55-58.
8. Kohan, L.S. Vybora natjazhenija pri tonkolistovoj holodnoj prokatke kompozicionnyh materialov [Tekst] / L.S. Kohan, A.V. Shul'gin, S.S. Hlamkova // Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. – 2015. – №3.
9. Galimov, N.K. Nelinejnoe deformirovanie krugloj plastiny, sharnirno opjortoj na kol'cevoj opore i nagruzhennoj raspredel'noj siloj po kraju [Tekst] / N.K. Galimov // Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. – 2015. – №2.

A. Korobko

State university – educational-science-production complex, Orel
Doctor of technical science, professor of the department «Theoretical and applied mechanics»
Ph.: +7 (4862) 76-03-72
E-mail: oantc@ostu.ru

M. Prokurov

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

A. Chernyaev

State university – educational-science-production complex, Orel
Candidate of technical sciences, senior lecturer of the department «Building designs and materials»
Ph.: +7 (4862) 73-43-49
E-mail: chernyev87@yandex.ru

КРИВОШАПКО С.Н.

ВИДЫ АВАРИЙ И РАЗРУШЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТРУКТУР И ОБОЛОЧЕК

Рассмотрены наиболее резонансные аварии и разрушения пространственных структур и оболочек, имевших место в период их гарантийного срока эксплуатации и произошедшие по вине строителей, проектировщиков или в результате природного фактора, не учтенного при проектировании.

Ключевые слова: железобетонная оболочка, металлическая оболочка, стержневая пространственная структура, прочность, устойчивость, обрушение покрытия, разрушение оболочки.

Бесспорно, что пространственные стержневые большепролетные структуры и тонкостенные оболочки при своем незначительном весе обладают большой прочностью и устойчивостью, поэтому они привлекали внимание зодчих и строителей с древнейших времен [1]. Однако поиск оптимальных форм тонких оболочек и структур, экспериментальное и теоретическое обоснование достоинств того или иного строительного материала для этих конструкций, разработка различных теорий и методов расчета пространственных структур сопровождалась рядом аварий, обрушений или выходом из строя построенных или строящихся большепролетных сооружений. Но после каждого такого чрезвычайного происшествия появлялись новые идеи, проектные решения и методы расчета, обеспечивающие неповторение подобных случаев.

Рассмотрим наиболее частые виды аварий, обрушений и разрушений пространственных структур и оболочек, которые имели место в мировой строительной практике.

Одно из самых ранних несанкционированных разрушений купола в России, произошедшее более 500 лет назад, сведения о котором дошли до нас, было при возведении кафедрального митрополичьего Успенского собора в Кремле в Москве. Новый собор должен был строиться по образцу Успенского собора во Владимире, но значительно превосходить его по размерам. Постройка собора началась в 1472 г. Постройка уже подходила к концу, когда 20 мая 1474 г. стены не выдержали тяжелого перекрытия и рухнули. По заключению псковских мастеров, призванных великим князем, скрепляющая известковая масса оказалась недостаточно прочной, но основной причиной катастрофы явилось землетрясение. Для завершения строительства в Москву была вызвана группа итальянских инженеров во главе с А. Фиоравенти, которая и закончила строительство.

Первая авария при строительстве железобетонных оболочек произошла в начале 1934 года в г. Коттбус (Германия), где через несколько недель после снятия опалубки железобетонного цилиндрического большепролетного ангара для ВВС Германии были замечены большие прогибы оболочки и балки над раздвижными воротами ангара, такие, что ворота слетели с рельс. Ворота поставили на место, но через пару недель они слетели вновь. Прогиб балки над воротами увеличился до 20-25 см, а затем обрушилась и сама оболочка ангара (рис. 1). При расследовании причин разрушения было установлено, что появились пластические линейные шарниры, изменившие геометрию оболочки, что привело к потере ее устойчивости. Учитывая это, в аналогичных, уже построенных ангарах, возвели поперечные ребра жесткости.

В 1956 г. произошло обрушение части монолитного железобетонного шедового покрытия меланжевого комбината площадью 5000 м² (18 оболочек). Покрытие толщиной 5 см с угощением до 10 см в местах примыкания к диафрагмам и до 20 см в местах примыкания к бортовым элементам было осуществлено в виде оболочек в форме трехосного эллипсоида над ячейками с пролетами 12×21 м (рис. 2). Строительные работы были начаты в 1952 году. А.Н. Шкинев [2] подробно описывает причины обрушения оболочек. Комиссия Госстроя СССР признала, что обрушение части покрытия произошло в результате совокупности ряда причин, в

том числе из-за недостаточной жесткости и устойчивости всей системы покрытия в направлении 12-метрового пролета и из-за большой нагрузки от наледи, образовавшейся в ендовах шедов и достигавшей толщины у воронок более 2,5 м. Обрушившаяся часть покрытия была затем восстановлена.

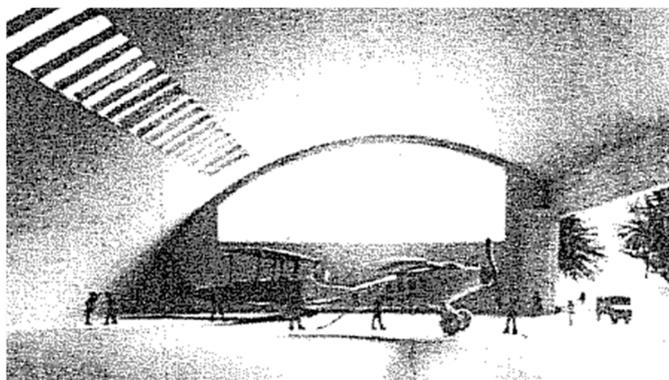


Рисунок 1 – Масштабная модель ангара в Коттбусе, 1933

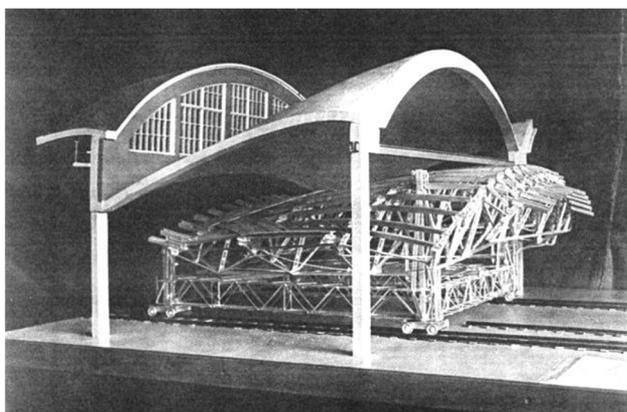


Рисунок 2 – Макет опалубки для железобетонного покрытия цеха, разработанный «Текстильпроектом»

Известен случай одновременного разрушения трех из восьми рядом стоящих градирен высотой 114 м во время сильного ветра в г. Феррибридж (Великобритания) 01.11.1996. (рис. 3).



Рисунок 3 – Общий вид градирен в г. Феррибридж после штормового ветра [3]

Еще несколько масштабных аварий и катастроф произошли прямо во время возведения гиперболических градирен, но они всё равно не повлияли на масштабы строительства этих сооружений. Самая большая катастрофа произошла на строительстве железобетонной градирни в г. Уиллоу-айленде (штат западная Виргиния, США) 27 апреля 1978 года здесь обрушилась часть одной из двух гиперболических градирен ТЭЦ Плезенте-Стейшн. Проектная высота градирен – 131 м, обрушившаяся градирня была выведена до высоты 109,1 м. Эксперты национального бюро стандартов США в результате исследований подтвердили, что причиной катастрофы была преждевременная передача строительных нагрузок на стенку оболочки до того как бетон замоноличенного яруса получил достаточную прочность для восприятия этих нагрузок.

В мае 1980 года в Западном Берлине произошло обрушение уникального здания «Конгрессхалле», построенного в 1957 году (арх. Х. Штуббнис, А. Дюттеман и Ф. Люккен). Покрытие здания было выполнено в виде седлообразной висячей конструкции (рис. 4, а). Оболочка толщиной 7 см была предварительно напряжена пучками проволоки диаметром 5,2 мм, расположенными с шагом 85 см. Во время аварии южная часть покрытия обрушилась на всем участке между пятами арки пролетом 78,06 м и вертикальной стеной (рис. 4, б). Один из участников строительства считает, что причиной аварии является длительная коррозия арматуры консольного участка покрытия в месте его сопряжения с вертикальной стеной, но, по мнению экспертов, причиной катастрофы явились усталость строительных материалов и ошибочная концепция всей конструкции кровли здания. В 1987 г. под руководством архитекторов Ганса-Петера Штрёля и Вольфа Рюдигера Борхардта зал конгрессов был реконструирован. Третий раз в своей истории Зал конгрессов после дорогостоящих ремонтных мероприятий вновь открылся 21 августа 2007 г.



*Рисунок 4 – Здание зала Конгрессов (The Kongresshalle (1956-58)):
а – до обрушения; б – после обрушения кровли, 1980*

Здание главного испытательного стенда Всесоюзного электротехнического института в г. Истра Московской области было запроектировано в форме, близкой к эллипсоиду вращения диаметром 234 м и высотой 112 м. Экватор оболочки был расположен на 23 м выше отметки пола (рис. 5, а). К наружным поясам каркаса приваривалась мембрана из рулонной стали толщиной 1,5 мм. Мембрана должна была воспринимать ветровые и снеговые нагрузки и одновременно являлась ограждающей конструкцией. Расход стали на основные несущие и ограждающие конструкции здания составлял 108 кг/м^2 поверхности (рис. 5, б). В 1984 году здание главного испытательного стенда ВЭИ сразу после возведения разрушилось. Исследованию причин аварии посвящено большое число опубликованных работ, поэтому мы не будем останавливаться здесь этом вопросе.

Не все шло гладко и в процессе освоения методов расчета и строительства гипаров. Например, в сентябре 1970 года полностью обрушилась крыша гимназии (Hennison, Virginia), состоявшая из 4-х элементов гиперболического параболоида (рис. 6). Согласно заключению экспертов, обрушение произошло из-за прогрессирующего прогиба в середине здания, достигшего значения 18 дюймов. Само здание имело в плане размеры 155×162 фута.

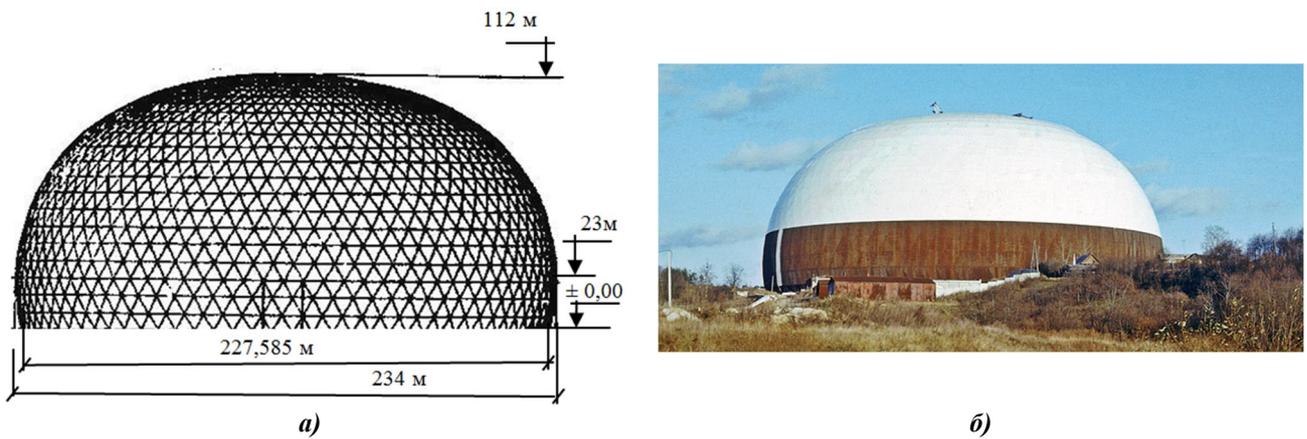


Рисунок 5 – Главный испытательный стенд ВЭИ, г. Истра: а – геометрическая схема испытательного стенда; б – общий вид испытательного центра, фото metro-rumata



Рисунок 6 – Здание гимназии до и после разрушения (Hennison, Virginia, USA)

Одной из крупнейших аварий можно считать обрушение в 1985 г. дворца спорта в Милане. Сооружение, построенное в 1975 г., было перекрыто круглым в плане висячим покрытием диаметром 126 м в форме гиперболического параболоида (рис. 7). Несущая конструкция выполнена в виде ортогональной сетки из стальных канатов диаметром 45 мм, закрепленных в кольцевой балке опорного контура. Максимальное провисание канатов составило 10,7 м. В результате сильной снежной бури на покрытии образовался слой снега толщиной 750 мм. Такая снеговая нагрузка, в сочетании с сильным ветром, резким падением температуры вызвала деформации, приведшие к разрушению балки контура. Четыре секции контура значительно деформировались, две разрушились полностью. По действующим итальянским нормам снеговая нагрузка была принята 0,9 кПа, в то время как реальная нагрузка составила около 1,3-1,5 кПа. Несущая способность покрытия была принята в расчете с коэффициентом запаса 1,5, в действительности этот коэффициент оказался ниже. Причиной аварии стал тот факт, что характер работы такой сложной конструкции не был точно определен из-за отсутствия опыта строительства таких уникальных сооружений. После аварии сооружение стало непригодным для эксплуатации, а в 1986 году был открыт новый спорткомплекс.



Рисунок 7 – Дворец спорта в Милане до разрушения (Palasport di San Siro), 1975 [skyscrapercity.com]



Рисунок 8 – Обрушение Басманного рынка 23.02.2006 г., Москва

Резонансным событием в истории строительства железобетонных оболочек стало обрушение купола аквапарка «Трансвааль-парк», произошедшее 14 февраля 2004 г. Многоуровневое 5-ти этажное здание было построено в 2002 г. по проекту архитектурного бюро С. Киселёва, инженер Н.В. Канчели. Здание построено турецкой компанией «Кочак Иншаат Лимитед» за полтора года. На момент введения в эксплуатацию это был самый большой аквапарк в Восточной Европе. Существовали 4 версии обрушения; нарушения при проектировании здания, ошибки при строительстве, неправильная эксплуатация и подвижка грунта.

Висячая оболочка покрытия Басманного (Таганского) рынка была возведена в 1977 г., гл. архитектор Л. Гильбурд, конструктор перекрытия Н.В. Канчели. Перекрытие обрушилось 23.02.2006 г. (рис. 8). По итогам заключения комиссии московского правительства причиной обрушения явились грубые нарушения правил эксплуатации здания.

17 июля 2011 года через 1 час 20 минут после завершения бетонирования наружной защитной оболочки реакторного здания первого энергоблока Второй Ленинградской АЭС произошло обрушение 1200 тонн выше установленных металлоконструкций (рис. 9). По официальной информации ОАО «Концерн Росэнергоатом» при работах по бетонированию здания энергоблока ЛАЭС-2 специалисты зафиксировали нарушение целостности армокаркаса на отметке выше отметки +8,5 метров от уровня земли, по предварительной оценке вследствие нарушения технологии бетонирования субподрядными организациями. Еще в конце мая строители обнаружили отклонение арматуры, заложенной в наружную защитную оболочку блока. На отметке 22 метра оно составляло 600 мм от вертикали. Подобного ЧП при строительстве объектов атомной энергетики российская строительная отрасль в то время еще не знала.



Рисунок 9 – Обрушение пространственного металлического каркаса при возведении первого энергоблока ЛАЭС-2

Известны случаи, когда оболочечные конструкции разрушались намеренно. Чтобы освободить место для нового более доходного крытого футбольного поля 26 марта 2000 г. был разрушен крытый стадион для бейсбола «The King Dome», построенный в 1976 г. с параболическим куполом диаметром 201 м (рис. 10).



Рисунок 10 – Конец эры «Королевского купола» [4] (1976 – 2000, Сиэтл, США)

Известны несколько случаев разрушения железобетонных резервуаров для жидкости. Например, произошло обрушение сферического купола толщиной 22,8 см железобетонного резервуара диаметром 29 м и высотой 10 м в Пуэрто-Рико (рис. 11), цилиндрическая его часть осталась невредимой. Резервуар был предназначен для хранения агрессивных жидкостей. Армирование купола показано на рисунке 12. Резервуар был построен в 1987 году.

Проведенное расследование показало, что в процессе эксплуатации на нижней поверхности купола появились меридиональные трещины, что привело к коррозии рабочей арматуры, рассчитанной на собственный вес купола. Круговые трещины также были выявлены. Было обнаружено, что практически отсутствовал защитный слой бетона (рис. 13).



Рисунок 11 – Железобетонный резервуар для жидкости до разрушения

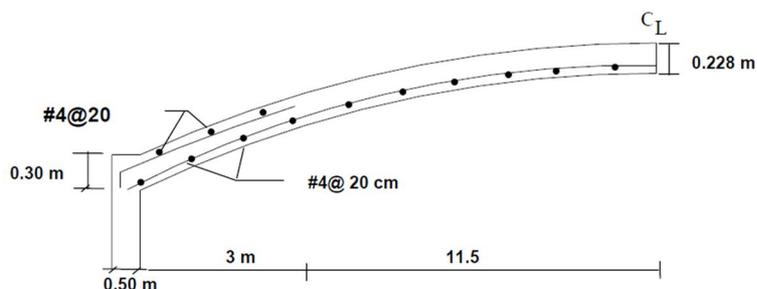


Рисунок 12 – Армирование купола резервуара, представленного на рисунке 11



Рисунок 13 – Фрагмент купола после обрушения [5]

Что касается, стальных резервуаров, то здесь очень опасна местная потеря устойчивости (рис. 14), которая может возникнуть из-за геометрических несовершенств (отклонения от проектной формы, наличие вмятин или выпуклостей, отклонение от проектных размеров поперечных сечений, изменение толщины) или от применения металлов с различными прочностными характеристиками. Некоторые геометрические отклонения в форме резервуаров могут появиться в процессе монтажа.



Рисунок 14 – Местная потеря устойчивости стального резервуара

Девяносто процентов большепролетных, высотных и других уникальных зданий и сооружений, возведенных и проектируемых на территории Москвы, были внепланово проверены экспертной комиссией по оценке надежности конструктивных решений и проверке технического состояния строительных конструкций в конце 2007 года в связи с аварийной ситуацией, возникшей в ледовом дворце «Крылатское» из-за провисания крыши (рис. 15). Было установлено, что причиной аварийной ситуации стал брак, допущенный при изготовлении металлических конструкций. С этого времени при проведении проверок эксперты комиссии обращают особое внимание на обследование элементов сложных металлоконструкций.

Аварии и разрушения происходят не только с конструкциями жестко-оболочечного или мембранного типа. Известны несколько случаев обрушения покрытий большепролетных стержневых структур рамного типа. Например, зимой 2013 года в ночное время произошло обрушение физкультурно-оздоровительного комплекса (ФОК) в г. Королев Московской области. Площадь обрушения – приблизительно 2000 м² (рис. 16). ФОК был выполнен по типовому проекту. Причиной обрушения, по-видимому, явилась сверхнормативная снеговая нагрузка. 21 ноября 2013 года обрушилась стена здания и крыша торгового центра «Махита», возве-

денного в 2011 году в Золитуде – спальном районе Риги, Латвия. Через 14 минут рухнула еще одна часть крыши. Общая площадь обрушения достигла 500 м² (рис. 17).



Рисунок 15 – Крытый конькобежный центр в Крылатском. Авторы: Кузьмин А.В., Боков А.В., Буш Д.В. Построен в 2004 г.



Рисунок 16 – Обрушение покрытия типового физкультурно-оздоровительного комплекса, г. Королев, Московская обл., зима 2013 г., фото Д.А. Лысова

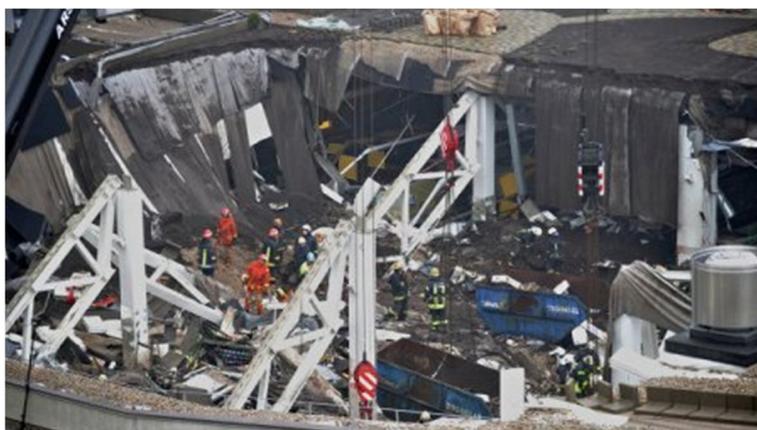


Рисунок 17 – Обрушение торгового центра «Махита», 21.11.2013, Рига, Латвия

Большую роль в поддержании долговечности сооружения и его функциональной работоспособности играют техническое обслуживание и ремонт сооружения. *Техническое обслуживание* – это комплекс организационно-технических мероприятий по поддержанию сооружений в исправности в заданных пределах. *Текущий ремонт* заключается в устранении мелких неисправностей, которые возникают при эксплуатации сооружения или отдельных его конструкций. *Капитальный ремонт* состоит в замене и восстановлении разрушенных частей или конструкций сооружения. *Реконструкция сооружения* представляет собой разновидность капитального строительства, связанного с повышением первоначальных функциональных, конструктивных или эстетических свойств сооружения. В состав работ по реконструкции входят и ремонтные работы, и работы, связанные с новым строительством.

Заключение

Нормативные документы и государственные стандарты по проектированию и строительству устанавливают оптимальные требования к проектированию и возведению большепролетных сооружений, к качеству строительных материалов, конструкций и изделий. Эти документы и стандарты непрерывно совершенствуются и обновляются. Однако иногда нормативные требования и рекомендации не успевают за передовым опытом проектирования или решения архитекторов опережают научные исследования в области расчета и проектирования. И архитекторам и практикующим инженерам часто приходится больше полагаться на свою интуицию, чем на устоявшиеся нормы и правила.

Анализ аварий сооружений позволяет установить основные причины разрушения: дефекты и низкое качество строительного-монтажных работ, нарушение условий обеспечения жесткости и устойчивости сооружения при проектировании и в процессе их возведения, применение материалов и конструкций ниже заявленной прочности, недостатки проектных решений, перегрузки несущих конструкций из-за неучета действительных ветровых и снеговых нагрузок, отсутствие надежных средств и методов антикоррозионной защиты; недостаточная проработка методов расчета сооружений на прочность, жесткость, устойчивость и динамические воздействия; и наконец, отсутствие натуральных наблюдений за работой сооружения во время его эксплуатации. Любые сооружения требуют *текущего и капитального ремонта*, иначе они не сразу, как в рассмотренных выше случаях, а постепенно придут в нерабочее состояние. Например, профессор Вл. Васильев придумал уникальное решение опирающейся в трёх точках железобетонной конструкции покрытия над источником минеральной воды (г. Харьков). Его поверхность облицована цветным стеклом и керамикой. До 2004 года сооружение подвергалось постепенному разрушению (рис. 18) [6] и могло быть навсегда утеряно.



Рисунок 18 – Покрытие над источником минеральной воды, Харьков

Чрезвычайно затянулось решение вопроса о судьбе телерадио башни на Шаболовке в Москве. Несмотря на существующее финансирование исследовательских и ремонтных работ на этой Шуховской башне, она находится в аварийном состоянии [7]. Специалист по антикоррозионной защите Дм. Косенков [<http://rossiyanavsegda.ru/read/806/>] так выразил свое отношение к этой проблеме: «Трудно описать мое изумление, когда мне стало известно, что **такое знаковое для мировой архитектуры сооружение, как Шуховская башня, находится без защиты от коррозии на протяжении уже почти полувека.** Мне не понятно вообще, каким образом она до сих пор стоит. Я считаю, что **время упования на прочность конструкции башни кончилось и дальнейшее промедление с ремонтом преступно**».



Рисунок 19 – Прогрессирующее обрушение конструкций производственного здания из металлических конструкций в результате пожара

В статье не рассматриваются аварии и разрушения, произошедшие в результате природных катаклизмов (оползни, цунами, землетрясения) или в результате прогрессирующего

разрушения сооружений, например, при воздействии на них пожара (рис. 19) [8] или взрыва (рис. 20) [9].



Рисунок 20 – Обрушение производственного здания в результате взрыва заряда внутри здания, г. Грозный

Эти вопросы необходимо изучать отдельно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривошапко, С.Н. О возможностях оболочечных сооружений в современной архитектуре и строительстве [Текст] / С.Н. Кривошапко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2013. – №1. – С. 51-56.
2. Шкинев, А.Н. Аварии в строительстве [Текст] / А.Н. Шкинев. – Изд. 4. – М.: Стройиздат, 1984. – 320 с.
3. Report of the Committee of Inquiry into Collapse of Cooling Towers at Ferrybridge // Central Electricity Generating Board, London, England, Nov. 1965.
4. Washington State Photo Gallery: <http://www.evergreen.edu/library/GovDocs/photogallery> / Washington/kingdome.html.
5. Godoy L.A., Lopez-Bobonis S. On the collapse of a reinforced concrete digester tank// Oxford: Thin-Walled Structures. – 2001. – P. 669-676.
6. Аварии зданий и сооружений на территории Российской Федерации в 2003 году [Текст] / Общероссийский фонд «Центр качества строительства». – М., 2004 [stroyinf.ru].
7. Леонов, А.В. Анализ различий между исторической документацией и фактической конструкцией Шаболовской радиобашни с использованием 3D-модели [Текст] / А.В. Леонов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2014. – №6. – С. 15-22.
8. Ройтман, В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий [Текст] / В.М. Ройтман. – М.: Пожнаука, 2001. – 383 с.
9. Алборова, Л.А. Исследование разрушений зданий в городе Цхинвал (Южная Осетия) от воздействия обычных средств поражения [Текст] / Л.А. Алборова // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2009. – №1. – С. 77-80.

С.Н. Кривошапко

Российский университет дружбы народов, г. Москва

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прочность материалов и конструкций»

Тел.: +7 (495) 955-09-78

E-mail: sn_krivoshapko@mail.ru

S. KRIVOSHAPKO

THE TYPES OF FAILURES AND COLLAPSES OF SPATIAL STRUCTURES AND SHELLS

The most resonance failures and collapses of spatial structures and shells that took place in their guaranty period and were through builders' and designers' fault or were as a result of nature factors not taken into account at the process of design.

Keywords: reinforced concrete shell, metal shell, lattice spatial structure, strength, stability, collapse of covering, failure of a shell.

BIBLIOGRAPHY

1. Krivoshapko, S.N. O vozmozhnostjakh obolochecnyh sooruzhenij v sovremennoj arhitekture i stroitel'stve [Tekst] / S.N. Krivoshapko // Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. – 2013. – №1. – S. 51-56.
2. Shkinev, A.N. Avarii v stroitel'stve [Tekst] / A.N. Shkinev. – Izd. 4. – M.: Strojizdat, 1984. – 320 s.
3. Report of the Committee of Inquiry into Collapse of Cooling Towers at Ferrybridge // Central Electricity Generating Board, London, England, Nov. 1965.
4. Washington State Photo Gallery: <http://www.evergreen.edu/library/GovDocs/photogallery> / Washington/kingdome.html.
5. Godoy L.A., Lopez-Bobonis S. On the collapse of a reinforced concrete digester tank// Oxford: Thin-Walled Structures. – 2001. – P. 669-676.
6. Avarii zdaniy i sooruzhenij na territorii Rossijskoj Federacii v 2003 godu [Tekst] / Obshherossijskij fond «Centr kachestva stroitel'stva». – M., 2004 [stroyinf.ru].
7. Leonov, A.V. Analiz razlichij mezhdru istoricheskoj dokumentaciej i fakticheskoj konstrukciej Shabolovskoj radiobashni s ispol'zovaniem 3D-modeli [Tekst] / A.V. Leonov // Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. – 2014. – №6. – S. 15-22.
8. Rojtman, V.M. Inzhenernye reshenija po ocenke ognestojkosti proektiruemyh i rekonstruiruemyh zdaniy [Tekst] / V.M. Rojtman. – M.: Pozhnauka, 2001. – 383 s.
9. Alborova, L.A. Issledovanie razrushenij zdaniy v gorode Chinval (Juzhnaja Osetija) ot vozdejstvija obychnyh sredstv porazhenija [Tekst] / L.A. Alborova // Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. – 2009. – №1. – S. 77-80.

S. Krivoshapko

Peoples' friendship university of Russia, Moscow

Doctor of technical science, professor, head of the department «Strength of materials and structures»

Ph.: +7 (495) 955-09-78

E-mail: sn_krivoshapko@mail.ru

КУПЧИКОВА Н.В.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С УШИРЕНИЯМИ ВВЕРХУ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ СТАТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

В статье представлена методика аналитического решения задач по исследованию работы свайных фундаментов с поверхностными уширениями и наклонными боковыми гранями в грунтовом массиве, основанная на свойствах изображения Фурье финитных функций. Выполнен сравнительный анализ результатов расчёта по предлагаемой методике для призматических свай, свай с поверхностным уширением, призматических с забивным оголовком и свай со сборными клиньями, расположенными на поверхности.

Ключевые слова: свайный фундамент с поверхностными уширениями, методика расчёта, кусочно-постоянные параметры, кусочно-переменные параметры, метод Фурье, определение перемещений.

Введение

В несвязных переувлажнённых грунтах актуальным становится применение свай с наклонными боковыми гранями или поверхностными уширениями, что на практике значительно повышает эффективность свайного фундаментостроения при решении нестандартных проектных задач. Однако использование их ограничено, ввиду отсутствия надёжных методик определения напряжённо-деформированного состояния в грунтах, сложенных различными физико-механическими характеристиками, изменяющимися по длине с учётом пластических свойств.

Опыт применения готовых свай с уширениями сверху или с наклонными боковыми гранями позволил выявить, что несущая способность таких конструкций возрастает не только за счет увеличения площади у оголовка, но и за счет изменения условий работы грунта по боковой поверхности сваи и силы трения, которая реализуется в большей мере.

С практической точки зрения сваи с уширениями сверху вызывают у строителей большой интерес в качестве фундаментов зданий и сооружений, воспринимающих горизонтальные, динамические, сейсмические нагрузки, а также нагрузки, возникающие от действия изгибающего момента.

Многочисленные результаты экспериментальных данных автора статьи [2, 4, 6] и сравнительный анализ [7, 8] показал, что наиболее эффективной в общепринятой классификации свай с поверхностными уширениями является ступенчатая свая (рис. 1, *з*), её несущая способность на 15-20% больше пирамидальной и бипирамидальной и на 20-25% – призматической. Однако ввиду отсутствия точных и надёжных методов расчёта напряжённо-деформированного состояния ступенчатые сваи не нашли своего применения в строительстве.

Сваи с поверхностными уширениями (рис. 1, *в*) в виде сборных клиньев приводят к увеличению плотности грунта на 20-30%, и позволяют снизить осадку фундамента в 3-4 раза, по сравнению с призматической, что значительно увеличивает несущую способность фундамента.

Конструкция сваи с уширением на верхнем конце (рис. 1, *а*) и призматическая свая с забивным оголовком (рис. 1, *б*) по несущей способности и надёжности работы в слабых грунтах в незначительной степени имеют различия, что можно объяснить несущественными отличиями в формообразовании поперечного сечения и геометрии поверхностных уширений.

В работах [1-4] авторами разработана методика расчёта балок и свай, представляемая дифференциальными уравнениями с кусочно-постоянными параметрами, основанная на свойствах изображений Фурье финитных функций, которая показала хорошую сходимость результатов вычислений с результатами, полученными экспериментально в ходе проведения натур-

ных исследований, и результатами численного моделирования в MIDAS GTS NX и в системе FEMAP с решателем NE/NASTRAN. Однако в методике не рассмотрена задача совместной работы грунтового массива на участке сваи со сложной геометрией и не учтено многообразие конструктивных форм поверхностных уширений, что приводит к искажению результатов расчёта в сравнении с практическими результатами.

Методика расчёта свай с кусочно-переменными параметрами на участке сваи длиной до $l/3$ у верхнего конца, основанная на свойствах изображений Фурье финитных функций

Рассмотрим сваи с поверхностным уширением (рис. 1, а), призматические сваи с забивным оголовком (рис. 1, б), сваи со сборными клиньями (рис. 1, в), ступенчатые сваи (рис. 1, г), погружённые в грунт, длиной L и разделим на четыре участка с соответствующими длинами l_1, l_2, l_3, l_4 , с кусочно-постоянными изгибной жёсткостью EI_1, EI_2, EI_3, EI_4 и жёсткостью основания k_1, k_2, k_3, k_4 . Примем начало координат в верхнем сечении каждого участка сваи, обозначив их точками [1, 2, 3, 4].

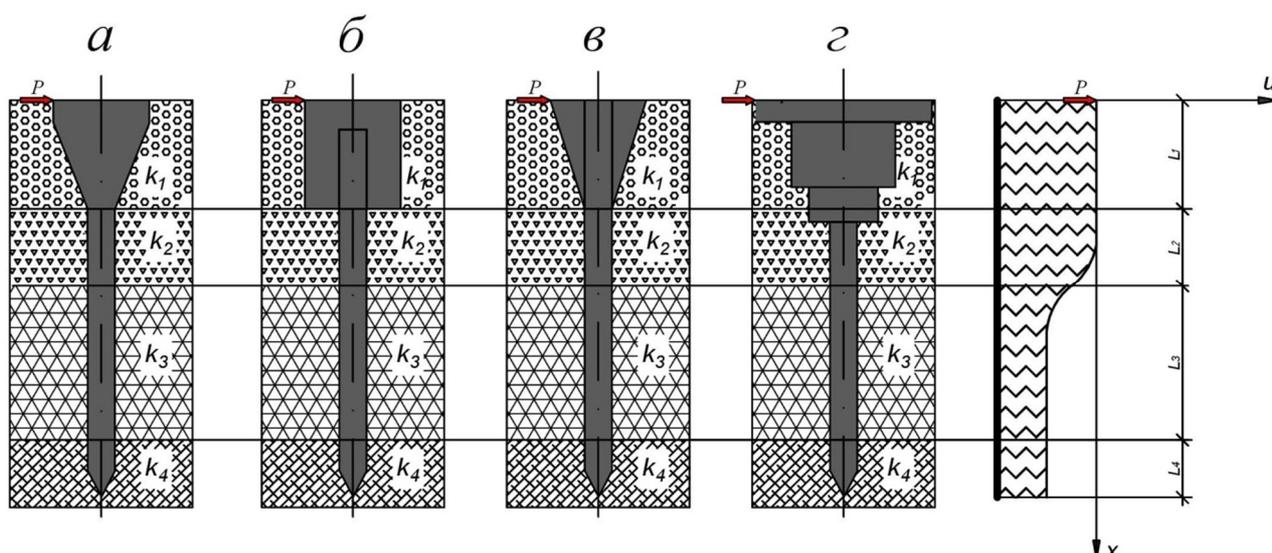


Рисунок 1 – Расчётная схема сваи с поверхностным уширением (а), призматической сваи с забивным оголовком (б), сваи со сборными клиньями (в), ступенчатой сваи (г)

Запишем дифференциальное уравнение изгиба участка сваи с поверхностным уширением l_1 в обобщённых финитных функциях:

$$EI_1 \frac{d^4 u_1}{dx^4} + k_1 u_1 = EI_1 u(0) \delta'''(x) - EI_1 u(l_1) \delta'''(x - l_1) + EI_1 u'(0) \delta''(x) - EI_1 u'(l_1) \delta''(x - l_1) + M(0) \delta'(x + l_1) - M \delta'(x - l_1) + Q(0) \delta(x + l_1) - Q(l_1) \delta(x - l_1) \quad (1)$$

Разделив на изгибную жёсткость и используя общепринятое обозначение $4\beta_1^4 u_1 = k / EI_1$ имеем:

$$\frac{d^4 u_1}{dx^4} + 4\beta_1^4 u_1 = u(0) \delta'''(x) - u(l_1) \delta'''(x - l_1) + u'(0) \delta''(x) - u'(l_1) \delta''(x - l_1) + \frac{M(0)}{EI_1} \delta'(x) - \frac{M(l_1)}{EI_1} \delta'(x - l_1) + \frac{Q(0)}{EI_1} \delta(x) - \frac{Q(l_1)}{EI_1} \delta(x - l_1) \quad (2)$$

$$\tilde{u}_1(v) = \frac{1}{EI_1 v^4 + 4\beta_1^4} \tilde{Q}(v) \quad (3)$$

В соответствии с теоремой Винера-Пэли-Шварца функция $\tilde{u}_1(v)$ должна быть целой, т.к. является изображением Фурье, финитной функции. Поэтому числитель $\tilde{Q}(v)$ должен де-

литься без остатка на знаменатель $v^4 + 4\beta_1^4$, что соответствует условию делимости функции $\tilde{Q}(v)$ на одночлены $(v - v_j)$, где $v_j, (j = 1, 2, 3, 4)$ являются корнями знаменателя:

$$v^4 + 4\beta_1^4 = 0. \quad (4)$$

Имеем:

$$\tilde{Q}(v_j) = 0; (j = 1, 2, 3, 4)$$

$$\tilde{Q}(v) = \frac{Q(0)}{EI_2} + \frac{M(0)}{EI_2}(-iv) + u'(0)(-iv)^2 + u(0)(-iv)^3 - \frac{Q(l_2)}{EI_2} - \frac{M(l_2)}{EI_2}(-iv)e^{ivl_2} - u'(l_2)(-iv)^2 e^{ivl_2} - u(l_2)(-iv)^3 e^{ivl_2} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} Q(0) & M(0) & u'(0) & u(0) & Q(l_2) & M(l_2) & u'(l_2) & u(l_2) \\ 1/EI_2 & -iv_1/EI_2 & -v_1^2 & -iv_1^3 & -1/EI_2 & iv_1 e^{iv_1 l_2}/EI_2 & -v_1^2 e^{iv_1 l_2} & -iv_1^3 e^{iv_1 l_2} \\ 1/EI_2 & -iv_2/EI_2 & -v_2^2 & -iv_2^3 & -1/EI_2 & iv_2 e^{iv_2 l_2}/EI_2 & -v_2^2 e^{iv_2 l_2} & -iv_2^3 e^{iv_2 l_2} \\ 1/EI_2 & -iv_3/EI_2 & -v_3^2 & -iv_3^3 & -1/EI_2 & iv_3 e^{iv_3 l_2}/EI_2 & -v_3^2 e^{iv_3 l_2} & -iv_3^3 e^{iv_3 l_2} \\ 1/EI_2 & -iv_4/EI_2 & -v_4^2 & -iv_4^3 & -1/EI_2 & iv_4 e^{iv_4 l_2}/EI_2 & -v_4^2 e^{iv_4 l_2} & -iv_4^3 e^{iv_4 l_2} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\frac{Q(0)}{EI_2} + \frac{M(0)}{EI_2}(-iv_j) - \frac{Q(l_2)}{EI_2} - \frac{M(l_2)}{EI_2}(-iv) + v_j^2 u'(0) - iv_j^3 u(0) - v_j^2 u'(l_2) e^{iv_j l_2} + iv_j^3 u(l_2) e^{iv_j l_2} = 0; (j = 1, 2, 3, 4); \quad (7)$$

$$v_1 = \sqrt{2}\beta e^{i\frac{\pi}{4}} = \beta(1+i); \quad v_1^2 = 2\beta^2 e^{i\frac{\pi}{2}} = 2\beta^2 i; \quad v_1^3 = 2\sqrt{2}\beta^3 e^{i\frac{3\pi}{4}} = 2\beta^3(-1+i);$$

$$v_2 = \sqrt{2}\beta e^{i\frac{3\pi}{4}} = \beta(-1+i); \quad v_2^2 = 2\beta^2 e^{i\frac{3\pi}{2}} = -2\beta^2 i; \quad v_2^3 = 2\sqrt{2}\beta^3 e^{i\frac{\pi}{4}} = 2\beta^3(1+i);$$

$$v_3 = \sqrt{2}\beta e^{i\frac{5\pi}{4}} = \beta(-1-i); \quad v_3^2 = 2\beta^2 e^{i\frac{\pi}{2}} = 2\beta^2 i; \quad v_3^3 = 2\sqrt{2}\beta^3 e^{i\frac{7\pi}{4}} = 2\beta^3(1-i);$$

$$v_4 = \sqrt{2}\beta e^{i\frac{7\pi}{4}} = \beta(1-i); \quad v_4^2 = 2\beta^2 e^{i\frac{\pi}{2}} = -2\beta^2 i; \quad v_4^3 = 2\sqrt{2}\beta^3 e^{i\frac{5\pi}{4}} = 2\beta^3(-1-i); \quad (8)$$

$$\tilde{Q}_1(v) = \tilde{q}_1(v) + Q(l)e^{ivl} + M(l)(-iv)e^{ivl} + Elu'(l)(-iv)^2 e^{ivl} + Elu(l)(-iv)^3 e^{ivl}. \quad (9)$$

Получим матрицу коэффициентов граничного элемента (сваи l_i):

$$\begin{bmatrix} Q(0) & M(0) & u'(0) & u(0) & Q(l_i) & M(l_i) & u'(l_i) & u(l_i) \\ 1/EI_1 & -i\beta(1+i)/EI_1 & -2\beta^2 i & -i2\beta^3(-1+i) & -1/EI_1 & i\beta(1+i)e^{iv_1 l_i}/EI_1 & -2\beta^2 i e^{iv_1 l_i} & -i2\beta^3(-1+i)e^{iv_1 l_i} \\ 1/EI_1 & -i\beta(-1+i)/EI_1 & 2\beta^2 i & -i2\beta^3(1+i) & -1/EI_1 & i\beta(-1+i)e^{iv_2 l_i}/EI_1 & 2\beta^2 i e^{iv_2 l_i} & -i2\beta^3(1+i)e^{iv_2 l_i} \\ 1/EI_1 & -i\beta(-1-i)/EI_1 & -2\beta^2 i & -i2\beta^3(1-i) & -1/EI_1 & i\beta(-1-i)e^{iv_3 l_i}/EI_1 & -2\beta^2 i e^{iv_3 l_i} & -i2\beta^3(1-i)e^{iv_3 l_i} \\ 1/EI_1 & -i\beta(1-i)/EI_1 & 2\beta^2 i & -i2\beta^3(-1-i) & -1/EI_1 & i\beta(1-i)e^{iv_4 l_i}/EI_1 & 2\beta^2 i e^{iv_4 l_i} & -i2\beta^3(-1-i)e^{iv_4 l_i} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Однако изгибная жёсткость на участке сваи l_i (поверхностное уширение) величина не кусочно-постоянная, а кусочно-переменная и зависит от геометрии уширения. Жёсткость сваи в зоне уширения зависит от угла наклона боковой грани α и ширины уширения b_{li} (рис. 2). Поэтому для сваи с поверхностным уширением (рис. 1, а) и сваи со сборными клиньями (рис. 1, в) изгибную жёсткость на i -ом участке уширения можно определять исходя из расчётной схемы, представленной на рисунке 2 по формулам аналитической геометрии в расчётной модели, где взаимодействие околонутового основания и сваи с поверхностными уширениями описывается в виде кусочно-переменных функций:

$$EI_{x_{i1}} = E \left[\frac{b_{li} l_i^3}{12} - 2 \frac{l_i \Delta_{li}^3}{36} \right]; EI_{y_{i1}} = E \left[\frac{b_{li} l_i}{12} - 2 \frac{l_i \Delta_{li}}{36} \right]. \quad (11)$$

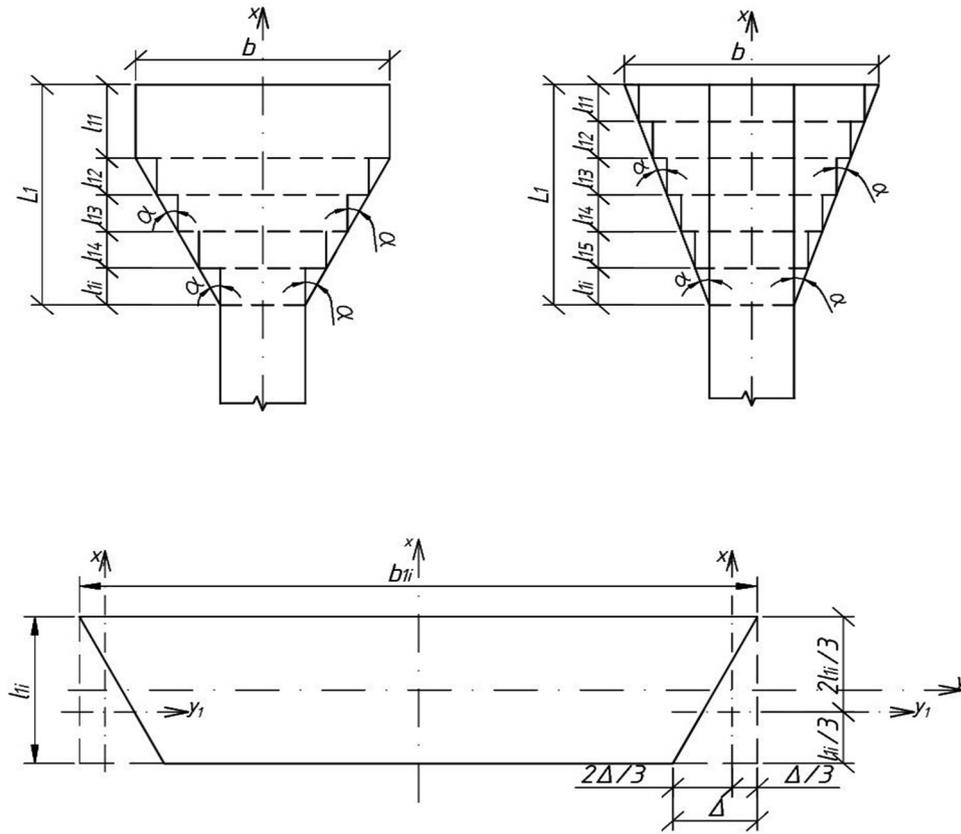


Рисунок 2 – Расчётная схема для определения изгибной жёсткости кусочно-переменных участков верхнего конца сваи с поверхностными уширениями и наклонными боковыми гранями

Поэтому матрица (10) коэффициентов граничного элемента (сваи l_1) ввиду изменения изгибной жёсткости по высоте сечения сваи примет вид (12):

$$\begin{bmatrix} Q(0) & M(0) & u(0) & \omega(0) & Q(l_1) & M(l_1) & u(l_1) & \omega(l_1) \\ 1/E_{l_1} & -i\beta(1+i)/E_{l_1} & -2\beta^2 i & -i2\beta^3(-1+i) & -1/E_{l_1} & i\beta(1+i)e^{i\nu_1 l_1}/E_{l_1} & -2\beta^2 i e^{i\nu_1 l_1} & -i2\beta^3(-1+i)e^{i\nu_1 l_1} \\ 1/E_{l_1} & -i\beta(-1+i)/E_{l_1} & 2\beta^2 i & -i2\beta^3(1+i) & -1/E_{l_1} & i\beta(-1+i)e^{i\nu_2 l_1}/E_{l_1} & 2\beta^2 i e^{i\nu_2 l_1} & -i2\beta^3(1+i)e^{i\nu_2 l_1} \\ 1/E_{l_1} & -i\beta(-1-i)/E_{l_1} & -2\beta^2 i & -i2\beta^3(1-i) & -1/E_{l_1} & i\beta(-1-i)e^{i\nu_3 l_1}/E_{l_1} & -2\beta^2 i e^{i\nu_3 l_1} & -i2\beta^3(1-i)e^{i\nu_3 l_1} \\ 1/E_{l_1} & -i\beta(1-i)/E_{l_1} & 2\beta^2 i & -i2\beta^3(-1-i) & -1/E_{l_1} & i\beta(1-i)e^{i\nu_4 l_1}/E_{l_1} & 2\beta^2 i e^{i\nu_4 l_1} & -i2\beta^3(-1-i)e^{i\nu_4 l_1} \end{bmatrix} \quad (12)$$

По аналогии производим вычисления дифференциального уравнения изгиба участков сваи l_3 в обобщённых финитных функциях.

Подставим корни, квадраты и кубы корней, которые понадобятся для дальнейших алгебраических преобразований:

$$\begin{aligned} \nu_1 &= \sqrt{2}\beta e^{i\frac{\pi}{4}} = \beta(1+i); & \nu_1^2 &= 2\beta^2 e^{i\frac{\pi}{2}} = 2\beta^2 i; & \nu_1^3 &= 2\sqrt{2}\beta^3 e^{i\frac{3\pi}{4}} = 2\beta^3(-1+i); \\ \nu_2 &= \sqrt{2}\beta e^{i\frac{3\pi}{4}} = \beta(-1+i); & \nu_2^2 &= 2\beta^2 e^{i\frac{3\pi}{2}} = -2\beta^2 i; & \nu_2^3 &= 2\sqrt{2}\beta^3 e^{i\frac{\pi}{4}} = 2\beta^3(1+i); \\ \nu_3 &= \sqrt{2}\beta e^{i\frac{5\pi}{4}} = \beta(-1-i); & \nu_3^2 &= 2\beta^2 e^{i\frac{\pi}{2}} = 2\beta^2 i; & \nu_3^3 &= 2\sqrt{2}\beta^3 e^{i\frac{7\pi}{4}} = 2\beta^3(1-i); \\ \nu_4 &= \sqrt{2}\beta e^{i\frac{7\pi}{4}} = \beta(1-i); & \nu_4^2 &= 2\beta^2 e^{i\frac{\pi}{2}} = -2\beta^2 i; & \nu_4^3 &= 2\sqrt{2}\beta^3 e^{i\frac{5\pi}{4}} = 2\beta^3(-1-i); \end{aligned} \quad (13)$$

Получим матрицу коэффициентов граничного элемента (сваи l_3) с кусочно-постоянной изгибной жёсткостью:

$$\begin{bmatrix} Q(0) & M(0) & u'(0) & u(0) & u'(l_3) & u(l_3) \\ 1/EI_3 & -i\beta(1+i)/EI_3 & -2\beta^2i & -i2\beta^3(-1+i) & -2\beta^2ie^{-iv_1l_3} & -i2\beta^3(-1+i)e^{iv_1l_3} \\ 1/EI_3 & -i\beta(-1+i)/EI_3 & 2\beta^2i & -i2\beta^3(1+i) & 2\beta^2ie^{-iv_2l_3} & -i2\beta^3(1+i)e^{iv_2l_3} \\ 1/EI_3 & -i\beta(-1-i)/EI_3 & -2\beta^2i & -i2\beta^3(1-i) & -2\beta^2ie^{-iv_3l_3} & -i2\beta^3(1-i)e^{iv_3l_3} \\ 1/EI_3 & -i\beta(1-i)/EI_3 & 2\beta^2i & -i2\beta^3(-1-i) & 2\beta^2ie^{-iv_4l_3} & -i2\beta^3(-1-i)e^{-iv_4l_3} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Пример решения

Исходные данные для расчёта

	Конструкция сваи	Размеры и форма уширения (мм)	Грунтовые условия
1	Призматическая свая ($L_{св}=8000$, сечение сваи 300×300)	—	упругий модуль $E = 3,24 \cdot 10^7$ кН/м ² , коэффициенты основания: $k_1 = 1.10^5$ кН/м ³ , $k_2 = 2.10^6$ кН/м ³ , $k_3 = 4,5 \cdot 10^5$ кН/м ³ , $k_4 = 8 \cdot 10^6$ кН/м ³
2	Свая с поверхностным уширением (рис. 1, а), ($L_{св}=8000$, сечение сваи 300×300)	$L_{уш}=2400$; $B_{уш}=600$; Сечение уширения на верхнем конце 600×600 ; Угол сбega граней $\alpha=30^0$	
3	Призматическая свая с забивным оголовком (рис. 1, б), ($L_{св}=8000$, сечение 300×300)	$L_{уш}=2400$, $B_{уш}=600$; Сечение уширения на верхнем конце 600×600 ;	
4	Свая со сборными клиньями на поверхности, (рис. 1, в), ($L_{св}=8000$, сечение 300×300)	$L_{уш}=2400$, $B_{уш}=900$; Сечение уширения на верхнем конце 900×900 ; Угол сбega граней $\alpha=30^0$	

Результаты расчёта представим на графике (рис. 3).

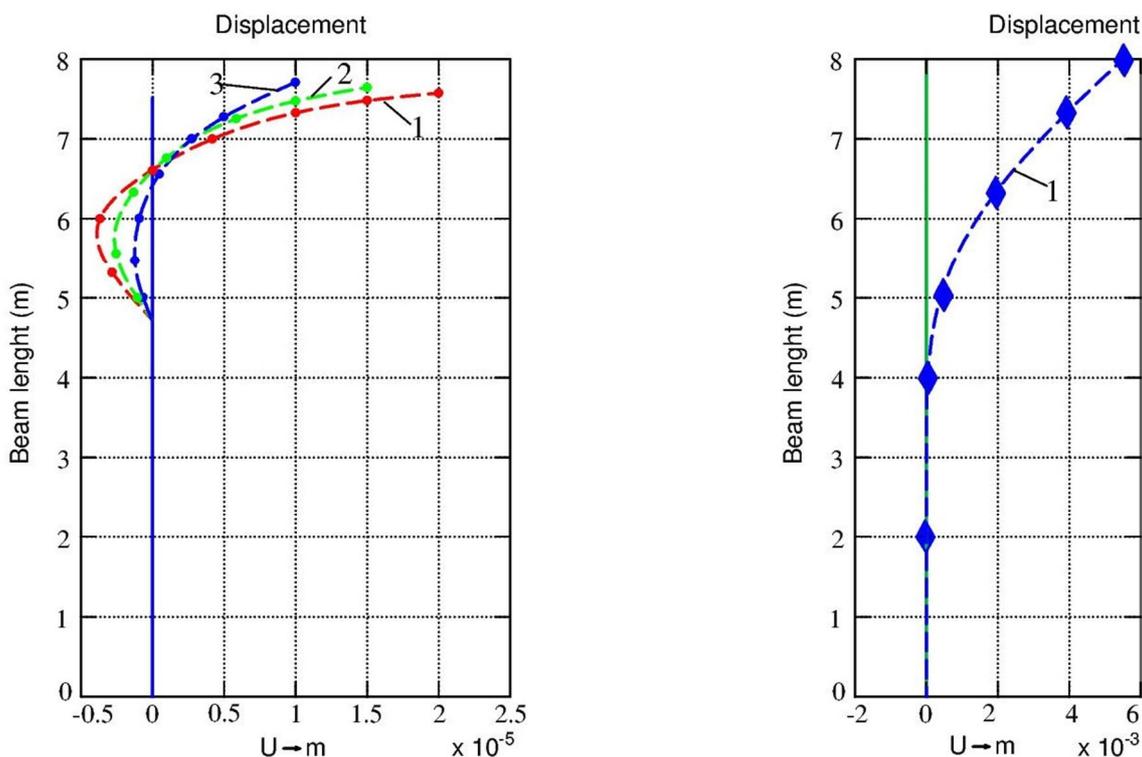


Рисунок 3 – Значения перемещений верхнего конца свай с поверхностными уширениями (а) и обычной призматической сваи (б) при горизонтальном статическом нагружении, полученные аналитически по методу преобразований Фурье финитных функций:
 1 – свая со сборными клиньями на поверхности; 2 – призматическая свая с забивным оголовком; 3 – свая с поверхностным уширением

Выводы

1. Результаты расчёта, выполненные ранее [1-4] для обычных призматических свай (см. рис. 2, б) при одинаковых размерах длины и сечения сваи и свай с уширениями вверху (см. рис. 2, а) при статическом горизонтальном нагружении показывают значительные перемещения до 8-ми – 20-ти раз большие (в зависимости от конструкции и геометрии уширения), что объясняется высокой жёсткостью свай с поверхностными уширениями особенно на участке сваи длиной до $l/3$ у верхнего их конца.

2. Сравнительный анализ исследований в результате расчёта показал (см. рис. 2, а), что наименьшие перемещения наблюдаются у так называемой «литой» сваи, где поверхностное уширение является частью тела сваи (т.е. на участке с наклонными боковыми гранями), на 25% перемещения больше у призматических свай с забивным оголовком на поверхности, и на 40% перемещения больше у свай со сборными клиньями при одинаковом горизонтальном нагружении.

3. Методика расчёта, основанная на свойствах изображения Фурье финитных функций показала, что конструкции фундаментов, где уширения, погружаются отдельно на поверхности от тела сваи показывают меньшую эффективность работы в грунтовом полупространстве, чем сваи, где уширение является единой конструкцией с телом, ввиду отсутствия сил трения в швах, образованных между боковой поверхностью сваи и погружаемого сборного уширения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курбацкий, Е.Н. Методические указания по решению задач механики с использованием преобразования Фурье [Текст]: учебное пособие / Е.Н. Курбацкий. – Москва: МИИТ, 1979.
2. Курбацкий Е.Н. Методика расчета свайных фундаментов с уширениями на статические и динамические воздействия, основанная на свойствах изображения Фурье финитных функций [Текст] / Е.Н. Курбацкий, Н.В. Купчикова, Сан Лин Тун // Модернизация регионов России: инвестиции в инновации: сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. – Астрахань, 2010. – С. 3-6.
3. Курбацкий Е.Н. Соотношение между интегралом Фурье и спектрами ответов при оценке сейсмического воздействия на свайный фундаменты [Текст] / Е.Н. Курбацкий, Н.В. Купчикова, Сан Лин Тун // Энергоресурсосберегающие технологии: Наука. Образование. Бизнес. Производство: сб.тр. V Междунар. науч.-практ. конф. – Астрахань, 2011. – С. 173-178.
4. Купчикова, Н.В. Методика расчёта свайных фундаментов с уширениями на сейсмические воздействия, основанная на свойствах изображения Фурье финитных функций [Текст] / Н.В. Купчикова // Промышленное и гражданское строительство – 2012. – №8. – С. 24-31.
5. Бондаренко, В.М. Модели при решении технических задач [Текст] / В.С. Федоров, В.М. Бондаренко // Перспективы развития строительного комплекса: материалы VIII международной научно-практической конференции. – Астрахань: ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2014. – С. 262-267.
6. Купчикова, Н.В. Технологическая эффективность применения свай с поверхностными уширениями в зависимости от изменения геометрии сборных клиньев в просадочных грунтах [Текст] / Н.В. Купчикова // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – №6. – С. 40-43.
7. Rytov, S.A. New geotechnical technologies / Proceedings of the 15th European Young Geotechnical Engineers Conference. Dublin, Ireland. 11-14 September 2002. – С. 311-315.
8. D. Boldini & A. Amorosi. Investigating the influence of tunnel volume loss on piles using photoelastic / Techniques The 6th International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. IS-Shanghai, 10-12 April 2008 – Shanghai, China. – С. 482.

Н.В. Купчикова

ГАОУ АО ВПО «Астраханский инженерно-строительный институт», г. Астрахань

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология, организация строительства и экспертиза, управление недвижимостью»

E-mail: kupchikova79@mail.ru

N. KUPCHIKOVA

ANALYTICAL METHOD OF CALCULATION OF PILE FOUNDATIONS WITH THE WIDENED UP ON A HORIZONTAL STATIC IMPACT

This paper presents a methodology for the analytical solutions of research work pile foundations with surface broadening and inclined side faces in the ground array, based on the properties of the Fourier transform of finite functions. A comparative analysis of the calculation results by the proposed method for prismatic piles, piles with surface broadening prismatic with precast piles and end walls with precast wedges on the surface.

Keywords: *pile foundation with surface broadening method of calculation, the piecewise constant parameters, piecewise variables, Fourier method, the determination of displacements.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kurbackij, E.N. Metodicheskie ukazaniya po resheniju zadach mehaniki s ispol'zovaniem preobrazovaniya Fur'e [Tekst]: uchebnoe posobie / E.N. Kurbackij. – Moskva: MIIT, 1979.
2. Kurbackij E.N. Metodika rascheta svajnyh fundamentov s ushirenijami na staticheskie i dinamicheskie vozdejstvija, osnovannaja na svojstvah izobrazhenija Fur'e finitnyh funkcij [Tekst] / E.N. Kurbackij, N.V. Kupchikova, San Lin Tun // Modernizacija regionov Rossii: investicii v innovacii: sb. tr. IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Astrahan', 2010. – S. 3-6.
3. Kurbackij E.N. Sootnoshenie mezhdu integralom Fur'e i spektrami otvetov pri ocenke sejsmicheskogo vozdejstvija na svajnyj fundamenty [Tekst] / E.N. Kurbackij, N.V. Kupchikova, San Lin Tun // Jenergoresursoberegajushhie tehnologii: Nauka. Obrazovanie. Biznes. Proizvodstvo: sb.tr. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Astrahan', 2011. – S. 173-178.
4. Kupchikova, N.V. Metodika raschjota svajnyh fundamentov s ushirenijami na sejsmicheskie vozdejstvija, osnovannaja na svojstvah izobrazhenija Fur'e finitnyh funkcij [Tekst] / N.V. Kupchikova // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – 2012. – №8. – S. 24-31.
5. Bondarenko, V.M. Modeli pri reshenii tehniceskix zadach [Tekst] / V.S. Fedorov, V.M. Bondarenko // Perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa: materialy VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Astrahan': GAOU AO VPO «AISI», 2014. – S. 262-267.
6. Kupchikova, N.V. Tehnologicheskaja jeffektivnost' primeneniya svai s poverhnostnymi ushirenijami v zavisimosti ot izmeneniya geometrii sbornyh klin'ev v prosadochnyh gruntah [Tekst] / N.V. Kupchikova // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2014. – №6. – S. 40-43.
7. Rytov, S.A. New geotechnical technologies / Proceedings of the 15th European Young Geotechnical Engineers Conference. Dublin, Ireland. 11-14 September 2002. – S. 311-315.
8. D. Boldini & A. Amorosi. Investigating the influence of tunnel volume loss on piles using photoelastic / Techniques The 6th International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. IS-Shanghai, 10-12 April 2008 – Shanghai, China. – S. 482.

N. Kupchikova

Astrakhan Institute of civil engineering, Astrakhan

Candidate of technical sciences, associate professor, head of the department «Technology, organization and construction expertise, property management»

E-mail: kupchikova79@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ УЗЛОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СТЕРЖНЕВОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ НЕПРЕРЫВНО АРМИРОВАННЫХ РАМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Установлено, что для повышения трещиностойкости бетона стоек в зонах анкеровки напрягаемой арматуры необходимо наматывать ее в верхнем поясе на внутренние анкеры, и устанавливать анкерные стержни закладной детали верхнего пояса на длину анкеровки напрягаемой арматуры. При изготовлении рам желательнее в качестве напрягаемой арматуры применять семипроволочные канаты К1500, что снижает насыщенность арматурой нижнего пояса. Опорные рамы должны иметь более развитые опорные узлы с более надежной анкеровкой наклонных стержней. Для обеспечения надежной анкеровки наклонных стержней вута необходимо приварить коротыши к нижним концам наклонных стержней.

Ключевые слова: железобетон, опорные рамы, опорные узлы, трещиностойкость, предварительное напряжение, анкеровка.

Исследования проводились на плоском фрагменте контурной фермы пространственного стержневого покрытия [1, 2, 4]. Основными задачами исследований являлись:

- работа узлов, стыков и элементов рам;
- влияния величины обжатия стыка на совместную работу стоек смежных рам;
- деформативность и несущая способность нижнего и верхнего стыков рам;
- трещиностойкость и несущая способность предварительно напряженных растянутых элементов рам [3].

Опытный фрагмент был собран из трех рядовых предварительно напряженных рам натуральной величины (рис. 1).

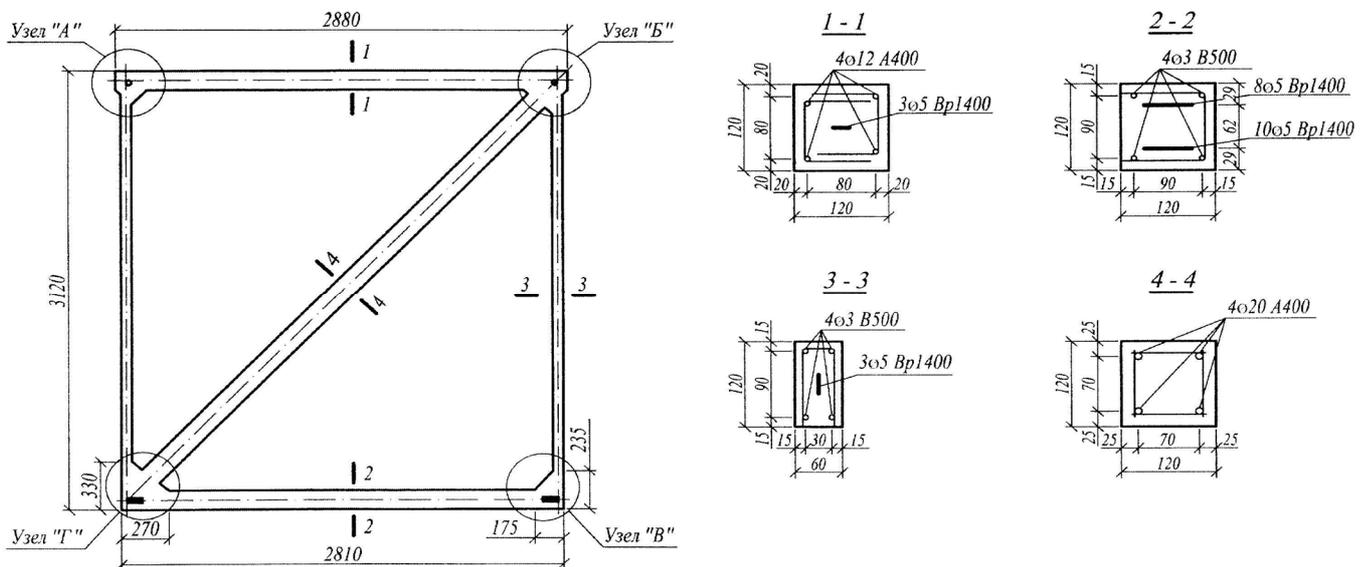


Рисунок 1 – Конструкция предварительно напряженных рам

Высота рам в осях 3 м, ширина – 2,74 м. Размеры сечений верхнего и нижнего поясов и раскоса рам приняты как в реальном покрытии равными 120×120 мм, стоек – 120×60 мм. Бетон рам класса В50. Напрягаемую высокопрочную арматуру из холоднодеформированной проволоки В_p1400 диаметром 5 мм навивали на поворотном столе, с механическим способом создания натяжения. Максимальное усилие натяжения на одну проволоку составляло 1,6 т. Из

условия обеспечения требуемой трещиностойкости нижнего пояса рам было установлено 18 диаметров 5 мм Вр1400, с общим усилием натяжения без учета потерь равным 28,8 т при $\sigma_{sp} = 0,57R_{s,n} = 8163 \text{ кг/см}^2$, а с учетом всех потерь усилие предварительного натяжения составило 23,22 т. В стойках и верхнем поясе размещено по три проволоки с общим усилием натяжения 4,8 т.

Арматура в нижнем поясе наматывалась на внутренние анкера, одетые на упоры силовой формы, а в верхнем – непосредственно на упоры формы без анкерных втулок.

Верхний пояс рам, работающий на сжатие, был армирован пространственным каркасом с продольной рабочей арматурой 4 диаметра 12 мм А400 с поперечными стержнями из арматурной проволоки В500, диаметром 3 мм, с шагом 200 мм.

Раскосы рам армированы пространственными каркасами, выполненными из арматурной стали класса А400, диаметром 20 мм ($A_s = 12,56 \text{ см}^2$). Площадь сечения арматуры раскоса была принята в 2,5 раза большей, чем требуется по расчету в рамах, работающих в составе покрытия, так как в процессе проведения экспериментов на фрагментах усилия в раскосах в отдельных рамах превышали расчетные значения в 1,5-2,4 раза. Поперечные стержни каркаса, диаметром 8 мм из арматурной стали класса А240, поставлены с шагом 250 мм. Растянутые нижний пояс и стойки имели конструктивную ненапрягаемую арматуру по 4 диаметра 3 мм В500 в виде П-образных гнутых каркасов с шагом поперечных стержней 250 мм.

Узлы рам были армированы в соответствии с рисунком 2.

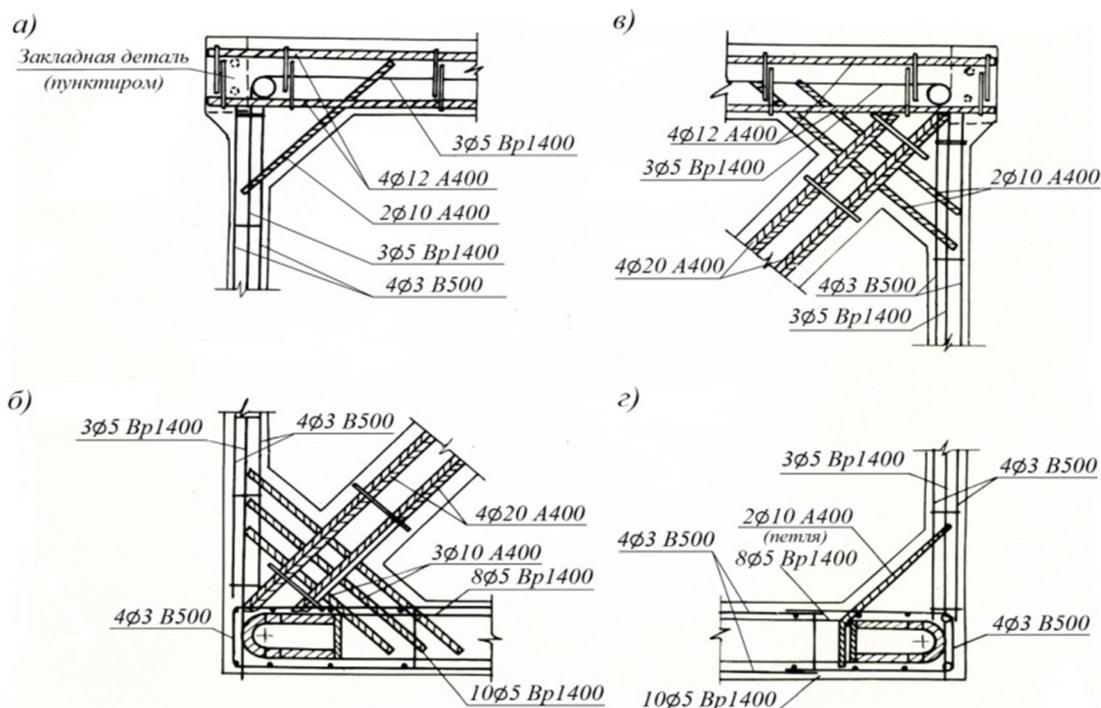


Рисунок 2 – Армирование узлов рам

Закладные детали верхнего пояса рам были выполнены из швеллера № 12 и не имели анкерных стержней в стойке, что привело в дальнейшем к образованию в них трещин на ранних стадиях нагружения (при изготовлении рам для других фрагментов этот недостаток был исправлен – анкерные стержни 2 диаметра 12 мм А400, завели в стойку на 500 мм). Большое количество напрягаемой арматуры в нижнем поясе (18 проволок диаметра 5 мм вместо 13 канатов К1500 диаметром 6 мм) не позволило установить поперечные сетки косвенного армирования в опорной зоне внутренних анкеров для восприятия концентрации напряжений в бетоне.

Опытный фрагмент был собран из трех рам (рис. 3), представляющий часть контурной фермы покрытия. Стыки рам по верхнему поясу были выполнены с помощью сварки закладных деталей, по нижнему – с помощью натяжных стыковых болтов диаметром 20 мм из стали

40Х, пропущенных через открылки внутренних анкеров. Опорные рамы не имели развитых опорных узлов, т.к. изготавливались в формах для рядовых рам [4].

Рамы в первых опытных фрагментах не имели нижних наружных выступов, с помощью которых они должны упираться друг в друга при обжатии стыка, и вместо них были поставлены металлические пластины (рис. 4).

Уровень натяжения болтов контролировали с помощью тензорезисторов, наклеенных на болты. Величина усилия обжатия стыков принималась равной усилию в поясах первой и второй рам покрытия. Усилие в болтах стыка №1 составило 9,045 т, а в болтах стыка №2 – 9,04 т. К моменту испытаний, вследствие потерь напряжения, обжатие стыка №1 составило 8,85 т (95%), а стыка №2 – 8,62 т (95,7%). Фрагмент был оперт на катковые опоры, одна из которых была неподвижной.

Для оценки трещиностойкости и несущей способности элементов рам, и работы стыков фрагмент загружался двумя гидравлическими домкратами P_1 и P_2 в верхних узлах фрагмента, в соотношении 1/0 при первом нагружении и в соотношении 0,7/1,0 при втором нагружении (рис. 5). Схема усилий в узле 2 приведена на рисунке 6.

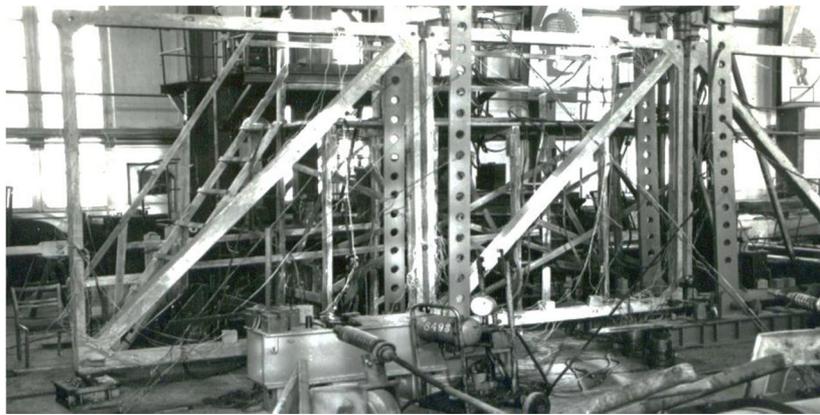


Рисунок 3 – Плоский фрагмент покрытия перед испытанием

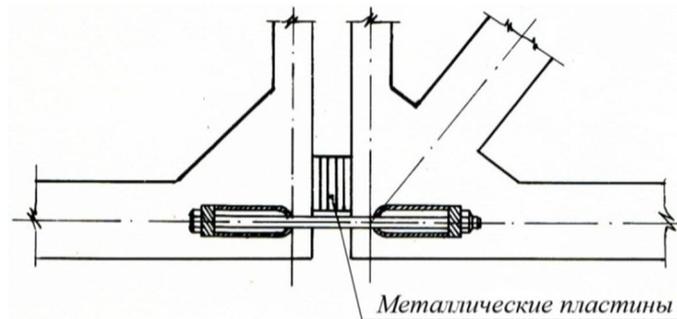


Рисунок 4 – Нижний стык рам плоского фрагмента

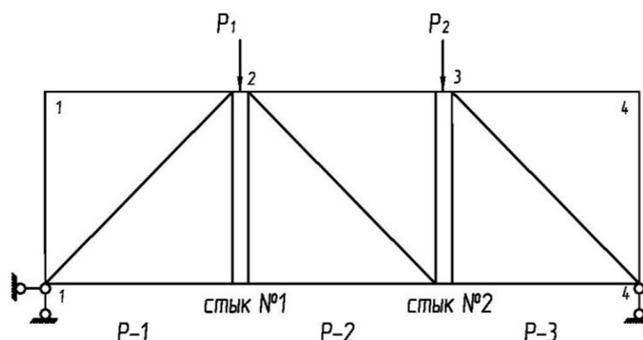


Рисунок 5 – Схема нагружения плоского фрагмента

При первом испытании фрагмент загружался только одной силой в узле №2. По этой схеме загрузки проверялась работа смежных стоек узла №2 и влияние деформативности стыков на прогибы фрагмента. При нагрузке 11,2 т в стойке V_2^{np} (рис. 7) у основания верхнего вуга в зоне анкерования напрягаемой арматуры появилась трещина. На следующем этапе загрузки аналогичная трещина появилась и в стойке $V_2^{лв}$.

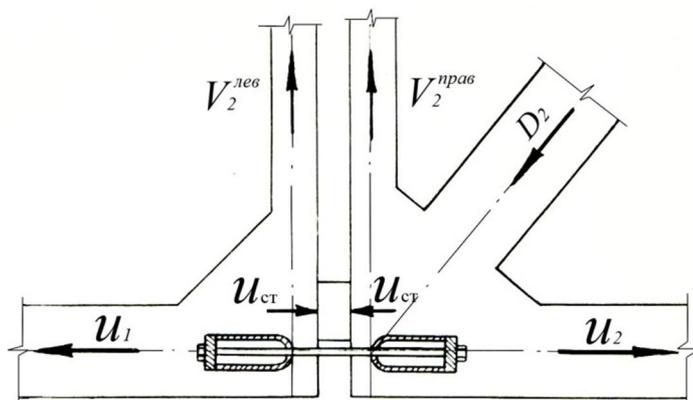


Рисунок 6 – Схема усилий в узле №2 (зеркально по отношению к рис. 5): U_1, U_2 – усилия в нижних поясах рам от нагрузки; $U_{ст}$ – усилие обжатия стыка стыковыми болтами; $V_2^{лев}, V_2^{прав}$ – усилия в стойках смежных рам; D_2 – усилие в раскосе второй (средней рамы)

Выше упоминалось, что напрягаемая непрерывная арматура наматывалась непосредственно на упоры верхнего пояса без внутренних анкеров, и анкеровка напрягаемой арматуры осуществлялась через сцепление арматуры с бетоном.



Рисунок 7 – Усиление стойки в процессе испытания

При дальнейшем нагружении величина раскрытия трещины начала резко возрастать, так как напрягаемая арматура стала проскальзывать в бетоне в отверстие из-под упора формы, на который она наматывалась. На этом этапе испытания приостановили, нагрузку довели до нуля и отверстия из-под упоров в верхнем поясе во всех рамах заделали бетоном на напрягающемся цементе. После этого испытания продолжили.

При нагрузке 15,0 т в верхнем поясе средней рамы от узла №2 появилась продольная трещина (трещина 8, см. рис. 6). Причиной появления продольной трещины явилось отсутствие надежной анкеровки закладных деталей верхнего пояса в стойках. Суммарное усилие в смежных стойках узла №2 при этом составило 5,0 т. На этом этапе нагрузку сбросили до 2,0 т, узел верхнего пояса стянули хомутами, которые приварили к закладным деталям верхнего по-

яса фрагмента (см. рис. 7). После усиления пояса нагрузку поэтапно довели до 22,4 т, при которой начал раскалываться верхний пояс средней рамы. Эта нагрузка погасила полностью обжатие стыка №2 и выключила из работы левую стойку.

Трещиностойкость элементов. С повышением нагрузки ширина раскрытия трещин в стойках увеличивалась, и при нагрузке 19,4 т составила 1,5-2 мм в стойке V_2^{np} и 1-1,65 мм в стойке $V_2^{не}$. В момент выключения из работы левой стойки при погашении усилия обжатия стыка, усилие растяжения в правой стойке составило 7,3 т или 95% от теоретического усилия трещинообразования, но по длине стоек трещины не появились.

Первые трещины в опорном узле появились в опорной раме P-3 при нагрузке $P_1 = 13,6$ т и $P_2 = 19,4$ т (рис. 8, а, трещина 7), при этом усилие в прилегающем раскосе составило 23,5 т.

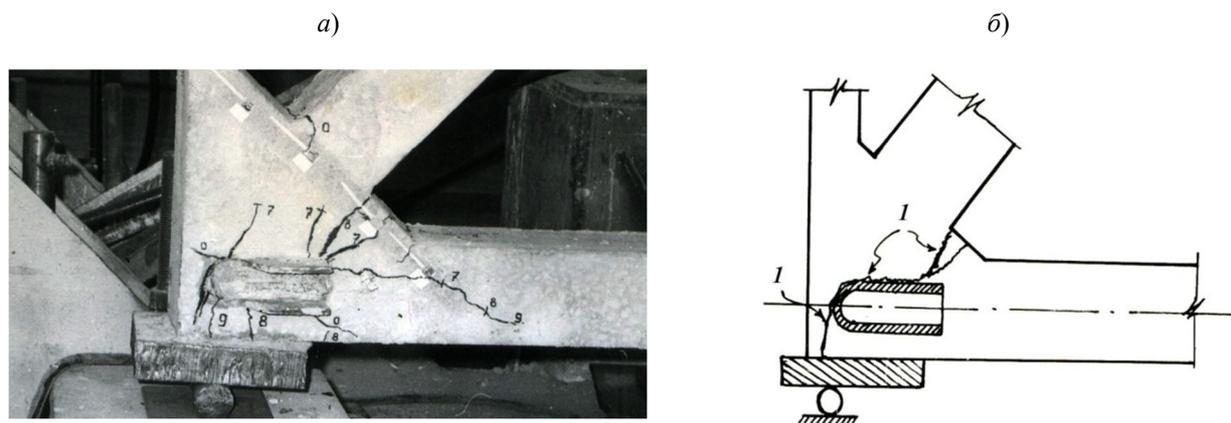


Рисунок 8 – Схема образования трещин в опорном узле

При дальнейшем загрузении фрагмента трещина, возникшая вдоль стенки анкера вышла к опорной грани пояса, образовав плоскость, по которой, при нагрузке $P_1 = 15,7$ т и $P_2 = 22,4$ т, произошло разрушение фрагмента. Усилие в прилегающем раскосе было равно 27,1 т, что на 19% больше, чем в опорном раскосе блока 24×12 м от расчетной нагрузки и на 7% больше, чем в блоке покрытия 18×18 м. Остальные элементы остались неповрежденными.

Работа узлов рам фрагмента. На рисунке 9 приведены эпюры деформаций бетона вутов рам, построенные на основании показаний тензорезисторов, для двух уровней нагрузки. До нагрузки $P_2=19,4$ т бетон вутов рам работал упруго, а при $P_2=19,4$ т во многих вутах появились трещины и произошло перераспределение усилий.

В опорной раме P-1 и промежуточной раме P-2 (рис. 9, а, б) характер деформаций бетона при обоих уровнях нагрузки практически одинаков, но деформации при нагрузке $P_2=12,8$ т в узлах рамы P-2 больше, чем при нагрузке 20,8 т. Это объясняется тем, что после образования трещин произошло перераспределение усилий. То же самое можно сказать и о вутах другой рамы. Разрушение опорного узла рамы P-3 произошло от среза раскоса вдоль нижнего пояса, вернее вдоль внутреннего анкера по плоскости, образованной наклонной трещиной от угла вута к внутреннему анкеру и вдоль него. Усилие в нижнем поясе в момент разрушения было равно 27,1 т.

Опорный узел рамы P-3 был армирован наклонными стержнями 6 диаметрами 10 А400 с общей площадью $A_s = 4,72$ см², приваренными перпендикулярно к пространственному каркасу раскоса. Расчетная схема узла приведена на рисунке 9.

Срез произошел по линии 1 (рис. 8). Угол наклона раскоса к оси нижнего пояса равен $\alpha = 48^\circ$. Арматура вута расположена перпендикулярно плоскости среза и под углом $\beta = 90^\circ - 48^\circ = 42^\circ$ к оси нижнего пояса.

Плоскость среза пересекает только арматуру вута и напрягаемую арматуру стойки. При расчете считаем, что все усилие среза воспринимает арматура вута, а бетон и напрягаемая арматура стойки участие в работе не принимают. Эти расчетные предпосылки направлены в запас прочности опорного узла.

За основу принимаем методику, изложенную в «Рекомендациях по проектированию ферм». Условие прочности узла (рис. 10):

$$N \leq N_{sw} \sin \beta \frac{l_1}{l_{an}}, \quad (1)$$

где N – усилие в нижнем поясе рамы; l_1 – длина заделки наклонных стержней за плоскость внутреннего анкера в нижний пояс; l_{an} – длина анкерки стержней.

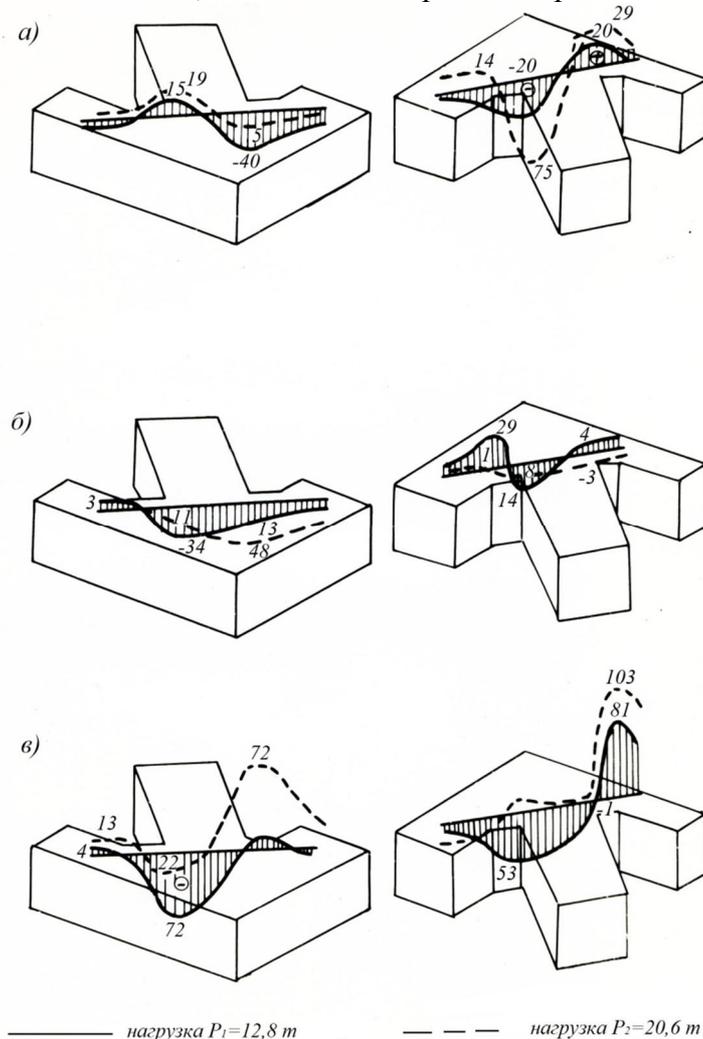


Рисунок 9 – Эпюры деформаций бетона в узлов: — — нагрузка 12,8 т; ---- — нагрузка 20,8 т

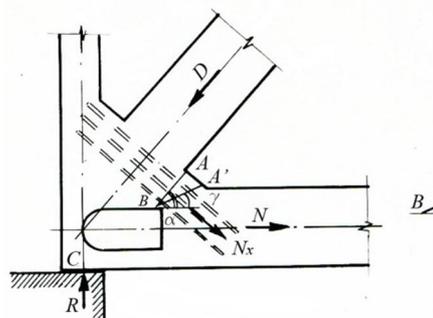


Рисунок 10 – Расчетная схема опорного узла

Усилие в хомутах:

$$N_{sw} = N \cdot l_{an} / \sin \beta \cdot l_1. \quad (2)$$

Площадь поперечного сечения одного стержня:

$$A_{sw} = \frac{N_{sw}}{nR_{sw}}, \quad (3)$$

где n – количество наклонных стержней; R_{sw} – расчетное сопротивление наклонных стержней. Учитывая, что угол $\beta = 42^\circ$, а $\sin \beta = 0,699$ формулы (2 и 3) для установленных параметров рам примут следующий вид:

$$N_{sw} = N \cdot l_{an} / 0,699l_1; \quad (4)$$

$$A_{sw} = \frac{N_{sw}}{nR_{sw}} = \frac{N \cdot l_{an}}{0,699nR_{sw}l_1}. \quad (5)$$

Для обеспечения надежной анкеровки наклонных стержней в нижнем поясе и стойке рамы к их концам необходимо приваривать анкерующие стержни.

Выводы

1. Для повышения трещиностойкости зон анкеровки напрягаемой арматуры бетона стоек необходимо напрягаемую арматуру в верхнем поясе наматывать на внутренние анкеры, и устанавливать анкерные стержни закладной детали верхнего пояса на длину анкеровки напрягаемой. Минимальная толщина стенок внутренних анкеров из условия восприятия усилия предварительного обжатия в момент снятия рамы с поддона 1,5 мм.

При изготовлении рам желательно в качестве напрягаемой арматуры применять семи-проволочные канаты К1500, что снизит насыщенность арматурой нижнего пояса.

2. В опытном фрагменте из-за отсутствия соответствующих форм в качестве опорных рам были использованы рядовые (промежуточные) рамы. Опорные рамы должны иметь более развитые опорные узлы с более надежной анкеровкой наклонных стержней. Разрушение опытного узла фрагмента произошло из-за недостаточной анкеровки наклонных стержней вута. Несущая способность наклонных стержней должна определяться с учетом их фактической длины анкеровки по формуле:

$$A_{sw} = \frac{N_{sw}}{nR_{sw}} = \frac{N \cdot l_{an}}{0,699nR_{sw}l_1}.$$

4. Форму опорного узла и его армирование необходимо выполнять по рисунку 13.

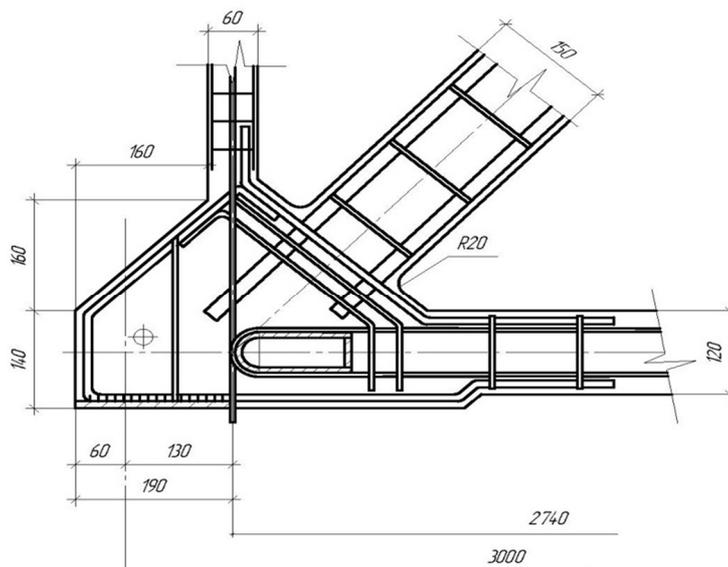


Рисунок 13 – Схема армирования опорного узла

Для обеспечения надежной анкеровки наклонных стержней вута необходимо приварить коротыши к нижним концам наклонных стержней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиппов, В.А. Пространственное стержневое покрытие блочного типа из предварительно напряженных рамных элементов [Текст] / В.А. Филиппов, Г.И. Бердичевский, Л.В. Руф // Расчет и конструирование железобетонных конструкций. – Труды НИИЖБ, 1977. – вып. 39. – С. 106-115.
2. А.с. 649803, Железобетонное покрытие / Г.И. Бердичевский, Н.Я. Сапожников, Л.В. Руф, Г.А. Гамбаров, А.К. Караковский, В.А. Филиппов. Бюл. №8. – 28.02.79.
3. Мурашкин Г.В. Состояние и перспективы развития предварительно напряженных железобетонных конструкций [Текст] / Г.В. Мурашкин, В.Г. Мурашкин // Материалы 7-й конференции Межрегиональной Ассоциации «Железобетон». – НИИЖБ. – М, 2000. – С. 5.
4. Филиппов, В.А. Прочность, трещиностойкость и деформативность узлов и стыков пространственного стержневого железобетонного покрытия блочного типа из предварительно напряженных рамных элементов: монография [Текст] / В.А. Филиппов, А.П. Садыков. – Тольятти: ТГУ, 2011. – 235 с.

Г.В. Мурашкин

Самарский государственный архитектурно-строительный университет, г. Самара
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Железобетонных и каменных конструкций»
E-mail: njknsq@.bk.ru

В.А. Филиппов

Тольяттинский государственный университет, Тольятти

G. MURASHKIN, V. FILIPPOV

A STUDY OF JOINTS IN SPATIAL FRAME ROOF STRUCTURES OF REINFORCED PRESTRESSED MEMBERS

It was found that to improve cracking resistance of concrete rods in the areas of anchoring of prestressed tendons it is need to reel these tendons in the upper zone on the internal anchors and mount anchor rods of embedded parts of the upper zone on the anchorage length of the prestressed tendons. In the manufacturing of frames is desirable to apply as tendons seven-wire ropes K1500, which reduces the intensity of tendons mounting in lower zone. Supporting frames must have more developed support assemblies with a reliable anchoring of inclined tendons. To reach of reliable anchorage inclined tendons of haunches must be welded to short anchors on the lower ends of inclined tendons.

Key words: reinforced concrete, supporting frame, support assemble, cracking resistance, prestress, anchorage.

BIBLIOGRAPHY

1. Filippov, V.A. Prostranstvennoe sterzhnevoe pokrytie blochnogo tipa iz predvaritel'no naprjzhenykh ramnykh jelementov [Tekst] / V.A. Filippov, G.I. Berdichevskij, L.V. Ruf // Raschet i konstruirovanie zhelezobetonnykh konstrukcij. – Trudy NIIZhB, 1977. – vyp. 39. – S. 106-115.
2. A.s. 649803, Zhelezobetonnoe pokrytie / G.I. Berdichevskij, N.Ja. Sapozhnikov, L.V. Ruf, G.A. Gambarov, A.K. Karakovskij, V.A. Filippov. Bjul. №8. – 28.02.79.
3. Murashkin G.V. Sostojanie i perspektivy razvitija predvaritel'no naprjzhenykh zhelezobetonnykh konstrukcij [Tekst] / G.V. Murashkin, V.G. Murashkin // Materialy 7-j konferencii Mezhhregional'noj Assotsiacii «Zhelezobeton». – NIIZhB. – M, 2000. – S. 5.
4. Filippov, V.A. Prochnost', treshhinostojkost' i deformativnost' uzlov i stykov prostranstvennogo sterzhnevoego zhelezobetonnogo pokrytija blochnogo tipa iz predvaritel'no naprjzhenykh ramnykh jelementov: monografija [Tekst] / V.A. Filippov, A.P. Sadykov. – Tol'jatti: TGU, 2011. – 235 s.

G. Murashkin

Samara state architecture and construction university, Samara
Doctor of technical Sciences, professor, head of the department « Concrete and masonry structures»
E-mail: njknsq@.bk.ru

C. Filippov

Togliatti state university, Togliatti

САВИН С.Ю., СКОТНИКОВА М.А.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МИКФ ДЛЯ РАСЧЕТА УПРУГИХ ОРТОТРОПНЫХ ПЛАСТИНОК В ВИДЕ ПАРАЛЛЕЛОГРАММОВ

В статье рассматриваются задачи поперечного изгиба упругих ортотропных пластинок в виде параллелограммов с комбинированными граничными условиями, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой. Для решения этих задач предлагается использовать метод интерполяции по коэффициенту формы. В работе предложена новая аппроксимирующая функция, приводятся результаты расчета по ней и сравнение их с решениями, полученными с использованием других функций, а также с расчетами по методу конечных элементов.

Ключевые слова: ортотропные пластинки в виде параллелограммов, максимальный прогиб, однородные и комбинированные граничные условия, метод интерполяции по коэффициенту формы, аппроксимирующие функции.

В качестве элементов покрытий, перекрытий и ограждающих конструкций современных зданий и сооружений широко применяются конструктивно ортотропные пластинки. В связи с этим огромное значение имеет развитие и совершенствование методов всесторонней оценки прочности, жесткости и устойчивости таких конструкций. При их расчете и проектировании, как правило, используются универсальные численные методы, среди которых в последние десятилетия доминирующие позиции занимает метод конечных элементов (МКЭ). Достоинства этого метода хорошо известны [1, 2], однако следует сказать о крайне ограниченных его возможностях в тех случаях, когда необходимо запроектировать конструкции с заранее заданными свойствами, а также при решении задачи оптимизации, которая при использовании МКЭ сводится к последовательному расчету до тех пор, пока выбранный параметр не примет оптимальное значение. Для решения подобных задач целесообразно использовать приближенные аналитические методы, одним из которых является метод интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ), предложенный А.В. Коробко [3]. Этот метод, основанный на подобии геометрических и физических характеристик пластинок, позволяет не только получать вполне удовлетворительные решения задач поперечного изгиба ортотропных пластинок, но и предоставляет широкие возможности для оценки полученных результатов [5].

Суть метода может быть продемонстрирована на следующем примере. Пусть для пластинки заданной формы необходимо найти значение интегральной физической характеристики (максимальный прогиб, частота собственных колебаний, критическая сила). Если форму заданной пластинки можно получить в результате какого-либо геометрического преобразования из форм других пластинок, интегральные физические характеристики которых известны (опорные решения), то искомая величина может быть найдена интерполяцией опорных значений по коэффициенту формы.

Данная работа посвящена совершенствованию МИКФ для расчета упругих ортотропных пластинок в виде параллелограммов при различных комбинациях жесткого защемления и шарнирного опирания вдоль сторон. Основные работы, выполненные в этом направлении, охватывают очень важную задачу построения границ изменения максимальных прогибов и частот собственных колебаний для всего множества ортотропных пластинок с заданным соотношением цилиндрических жесткостей [6, 7]. Однако не менее значимые вопросы выбора геометрических преобразований и аппроксимирующих функций, используемых для интерполяции между опорными решениями, освещены мало, в основном они иллюстрируются частными примерами решения тестовых задач [7]. В [8] был рассмотрен вопрос выбора аппроксимирующих функций при решении задач о поперечном изгибе упругих ортотропных пластинок в виде параллелограммов для случаев с однородными граничными условиями. Попытаемся

распространить полученные в [8] результаты на случаи комбинированных граничных условий (комбинации жесткого защемления и шарнирного опирания вдоль сторон пластинки, рисунок 1). На данном этапе будем ограничиваться рассмотрением нагрузки, равномерно распределенной по поверхности пластинок.

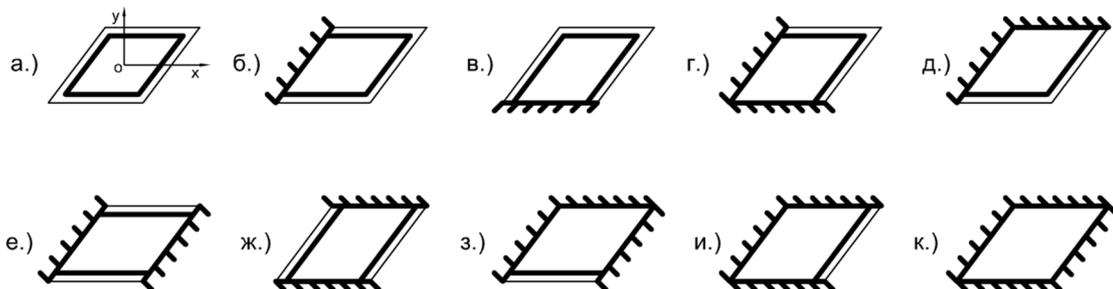


Рисунок 1 – Варианты граничных условий пластинок в виде параллелограммов

Выбор типа геометрического преобразования должен осуществляться таким образом, чтобы интегральная геометрическая характеристика формы области заданной пластинки занимала промежуточное положение между характеристиками опорных пластинок, то есть выполнялось условие:

$$K_{fo1} < K_f < K_{fo2}, \quad (1)$$

где K_f – коэффициент формы заданной пластинки; K_{fo1}, K_{fo2} – коэффициенты формы опорных пластинок. При этом форма области в виде параллелограмма может быть получена с помощью огромного числа типов геометрических преобразований из прямоугольных и ромбических форм областей. Учитывая, что все возможные типы геометрических преобразований позволяют получать равноценные решения задачи, целесообразно остановиться на каком-либо одном типе геометрического преобразования и установить аппроксимирующую функцию, наилучшим образом позволяющую описать соответствующую ему зависимость $w - K_f$. Одним из наиболее естественных способов моделирования формы области в виде параллелограмма является аффинный сдвиг прямоугольника относительно его основания, как это показано на рисунке 2. При таком преобразовании площадь фигур остается постоянной.

Функцию для интерполяции следует подбирать таким образом, чтобы число её неизвестных коэффициентов соответствовало числу опорных решений задачи, объединенных одним геометрическим преобразованием. На практике это число редко превосходит два.

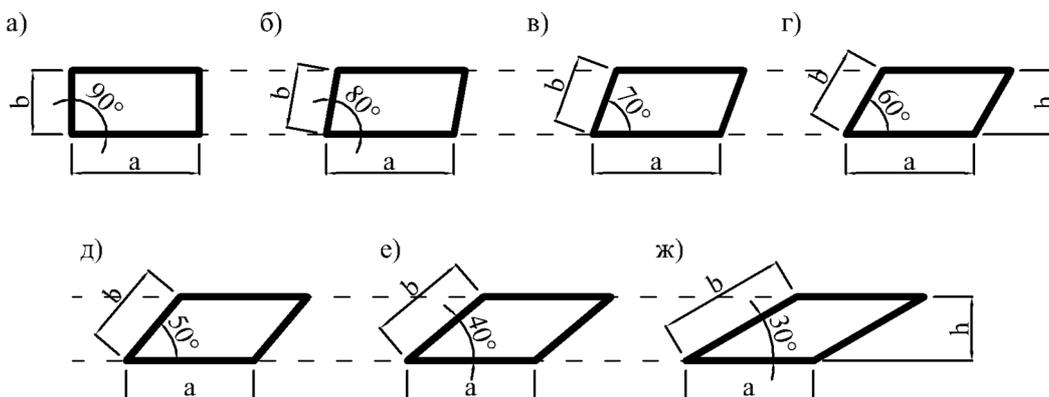


Рисунок 2 – Аффинное преобразование прямоугольника в ромб

Проанализируем графики зависимости $w - K_f$ упругих ортотропных пластинок, изображенных на рисунке 2 при соотношениях цилиндрических жесткостей $D_x/H, D_y/H$ от 1 до 3 для конкретного геометрического преобразования. Пусть соотношение сторон пластинок a/b изменяется от 2 (прямоугольная пластинка) до 1 (ромбическая пластинка). Ввиду от-

сутствия точных решений для пластинок в виде параллелограммов значения максимальных прогибов для них найдем с помощью МКЭ (по ПК *SCAD Office*). Расчет выполнялся при следующих условиях: пластинки разбивались не менее чем на 2000 конечных элементов (КЭ), предпочтение при этом отдавалось 4-угольным КЭ. Для пластинок в виде прямоугольников и ромбов соответствующие значения максимальных прогибов могут быть определены из выражений, приведенных в работах [6, 7]. Ввиду больших объемов вычислений, ограничимся здесь тем, что приведем их лишь для некоторых вариантов граничных условий (табл. 1). По данным таблицы 1 построены графики зависимостей $w - K_f$ (рис. 3...5).

Наиболее простыми и естественными являются следующие аппроксимирующие функции, предложенные в работе [4]:

– линейная:

$$w = w_0 + B \cdot (K_f / A)^2, \tag{2}$$

– степенная:

$$w = w_i (K_f / K_{fi} \times A_i / A)^n. \tag{3}$$

Однако, как показано в работе [8], для ортотропных пластинок в виде параллелограммов функция (3) может давать существенное расхождение. Функция (2) достаточно близко приближается к действительной кривой $w - K_f$ для случаев с однородными граничными условиями по контуру пластинок, однако при комбинированных условиях опирания также наблюдаются значительные расхождения (см. таблицу 1 и графики зависимостей $w - K_f$ на рисунках 3...5), которые могут превышать 10%.

В связи с этим более перспективной для аппроксимации решений представляется функция вида:

$$w = w_0 + B \cdot (K_f / A)^m. \tag{4}$$

Таблица 1 – Значения максимальных прогибов $(1000 \cdot w \cdot D) / (q \cdot A^2)$ по МИКФ, полученных с использованием аппроксимирующих функций (2) и (4)

	D_x/H	D_y/H	K_f						
			20	15,557	13,054	11,547	10,642	10,154	10
Комбинированное опирание по контуру пластинки (рис. 1, б)									
МКЭ	1	1	1,118	1,722	2,027	2,189	2,278	2,324	2,338
(2)			1,118	1,760	2,051	2,202	2,284	2,325	2,338
(4)			1,118	1,700	2,000	2,171	2,270	2,321	2,338
МКЭ	1	2	0,685	1,053	1,219	1,331	1,343	1,364	1,370
(2)			0,685	1,046	1,209	1,294	1,340	1,363	1,370
(4)			0,685	1,047	1,211	1,295	1,340	1,363	1,370
МКЭ	1	3	0,512	0,781	0,890	0,940	0,966	0,978	0,982
(2)			0,512	0,760	0,872	0,930	0,961	0,977	0,982
(4)			0,512	0,779	0,887	0,939	0,965	0,978	0,982
МКЭ	2	1	0,926	1,430	1,716	1,878	1,970	2,018	2,032
(2)			0,926	1,508	1,773	1,909	1,983	2,021	2,032
(4)			0,926	1,412	1,689	1,858	1,960	2,015	2,032
	D_x/H	D_y/H	K_f						
			20	15,557	13,054	11,547	10,642	10,154	10
МКЭ	2	2	0,625	0,979	1,167	1,266	1,321	1,350	1,359
(2)			0,625	1,011	1,186	1,277	1,326	1,351	1,359
(4)			0,625	0,975	1,156	1,258	1,318	1,349	1,359
МКЭ	2	3	0,475	0,743	0,872	0,937	0,972	0,990	0,995
(2)			0,475	0,749	0,873	0,937	0,972	0,990	0,995
(4)			0,475	0,738	0,864	0,932	0,970	0,989	0,995

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

	D_x/H	D_y/H	K_f						
			20	15,557	13,054	11,547	10,642	10,154	10
МКЭ	3	1	0,846	1,294	1,563	1,721	1,813	1,860	1,875
(2)			0,846	1,388	1,633	1,761	1,829	1,864	1,875
(4)			0,846	1,281	1,540	1,702	1,803	1,857	1,875
МКЭ	3	2	0,584	0,915	1,107	1,215	1,277	1,309	1,319
(2)			0,584	0,971	1,147	1,238	1,287	1,312	1,319
(4)			0,584	0,917	1,101	1,209	1,274	1,308	1,319
МКЭ	3	3	0,448	0,706	0,845	0,920	0,961	0,982	0,989
(2)			0,448	0,733	0,862	0,929	0,965	0,983	0,989
(4)			0,448	0,706	0,839	0,915	0,959	0,982	0,989
Комбинированное опирание по контуру пластинки (рис. 1, в)									
МКЭ	1	1	1,120	1,206	1,234	1,248	1,257	1,261	1,264
(2)			1,120	1,195	1,230	1,248	1,257	1,262	1,264
(4)			1,120	1,199	1,233	1,249	1,258	1,262	1,264
МКЭ	1	2	0,614	0,634	0,639	0,648	0,644	0,646	0,647
(2)			0,614	0,631	0,639	0,643	0,645	0,646	0,647
(4)			0,614	0,633	0,640	0,644	0,645	0,646	0,647
МКЭ	1	3	0,440	0,442	0,440	0,441	0,442	0,442	0,442
(2)			0,440	0,441	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442
(4)			0,440	0,441	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442
МКЭ	2	1	0,963	1,079	1,128	1,153	1,168	1,176	1,179
(2)			0,963	1,077	1,128	1,155	1,169	1,177	1,179
(4)			0,963	1,076	1,128	1,155	1,169	1,177	1,179
МКЭ	2	2	0,580	0,628	0,647	0,657	0,662	0,666	0,667
(2)			0,580	0,626	0,647	0,657	0,663	0,666	0,667
(4)			0,580	0,628	0,648	0,658	0,664	0,666	0,667
МКЭ	2	3	0,419	0,442	0,449	0,453	0,455	0,456	0,457
(2)			0,419	0,439	0,448	0,453	0,455	0,456	0,457
(4)			0,419	0,441	0,449	0,453	0,455	0,457	0,457
МКЭ	3	1	0,918	1,054	1,115	1,149	1,168	1,178	1,182
(2)			0,918	1,057	1,120	1,153	1,171	1,180	1,182
(4)			0,918	1,052	1,116	1,150	1,169	1,179	1,182
МКЭ	3	2	0,560	0,624	0,653	0,668	0,677	0,682	0,684
(2)			0,560	0,625	0,655	0,670	0,679	0,683	0,684
(4)			0,560	0,626	0,656	0,671	0,679	0,683	0,684
МКЭ	3	3	0,406	0,441	0,455	0,463	0,467	0,469	0,471
(2)			0,406	0,440	0,455	0,463	0,468	0,470	0,471
(4)			0,406	0,442	0,457	0,464	0,468	0,470	0,471
	D_x/H	D_y/H	K_f						
			20	15,557	13,054	11,547	10,642	10,154	10
Комбинированное опирание по контуру пластинки (рис. 1, е)									
МКЭ	1	1	0,674	1,293	1,681	1,903	2,027	2,090	2,110
(2)			0,674	1,430	1,773	1,951	2,047	2,095	2,110
(4)			0,674	1,335	1,692	1,901	2,024	2,089	2,110
МКЭ	1	2	0,427	0,851	1,082	1,231	1,257	1,286	1,294
(2)			0,427	0,884	1,091	1,198	1,256	1,285	1,294
(4)			0,427	0,863	1,074	1,188	1,252	1,284	1,294

	D_x/H	D_y/H	K_f						
			20	15,557	13,054	11,547	10,642	10,154	10
МКЭ	1	3	0,323	0,651	0,812	0,887	0,923	0,940	0,945
(2)			0,323	0,650	0,799	0,876	0,918	0,939	0,945
(4)			0,323	0,656	0,803	0,878	0,919	0,939	0,945
МКЭ	2	1	0,564	1,045	1,363	1,551	1,657	1,711	1,728
(2)			0,564	1,177	1,455	1,599	1,677	1,716	1,728
(4)			0,564	1,064	1,357	1,538	1,649	1,709	1,728
МКЭ	2	2	0,395	0,771	1,000	1,121	1,184	1,215	1,224
(2)			0,395	0,831	1,029	1,132	1,187	1,215	1,224
(4)			0,395	0,776	0,982	1,103	1,174	1,212	1,224
МКЭ	2	3	0,303	0,606	0,776	0,859	0,900	0,919	0,925
(2)			0,303	0,630	0,779	0,856	0,897	0,918	0,925
(4)			0,303	0,603	0,756	0,842	0,891	0,917	0,925
МКЭ	3	1	0,513	0,916	1,189	1,354	1,449	1,498	1,513
(2)			0,513	1,039	1,278	1,402	1,469	1,502	1,513
(4)			0,513	0,929	1,181	1,341	1,441	1,495	1,513
МКЭ	3	2	0,369	0,702	0,915	1,033	1,096	1,128	1,137
(2)			0,369	0,773	0,957	1,052	1,103	1,129	1,137
(4)			0,369	0,708	0,900	1,017	1,087	1,125	1,137
МКЭ	3	3	0,287	0,563	0,730	0,816	0,860	0,881	0,887
(2)			0,287	0,603	0,746	0,820	0,861	0,881	0,887
(4)			0,287	0,563	0,712	0,800	0,851	0,878	0,887

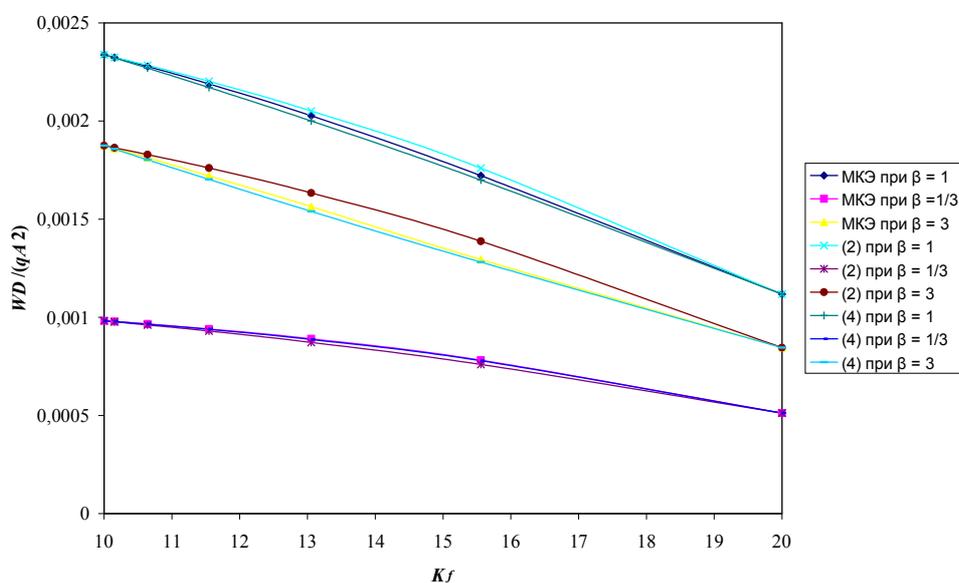


Рисунок 3 – Графики зависимости $w - K_f$ для пластинок с комбинированным опиранием (рис. 1, б) при некоторых β

В функции (4) три неизвестных параметра w_0, B, t , при этом количество независимых уравнений, которые можно составить на основании опорных решений (для прямоугольника и ромба) равно двум. Дополнительное уравнение получим следующим образом. По решениям для параллелограммов, приведенным в таблице 1 (см. графики зависимостей $w - K_f$ на рисунках 3...10), с помощью программного комплекса *Table Curve 2D* построим функции вида (4) для соответствующих соотношений цилиндрических жесткостей и комбинаций граничных условий по сторонам пластинок. Функции подбирались таким образом, чтобы при значениях

K_f , соответствующих опорным решениям, решения по ним совпадали с результатами расчета по МКЭ. В таблице 2 приведены полученные значения параметра степени m для соответствующих D_x/H , D_y/H и граничных условий из выражения (4).

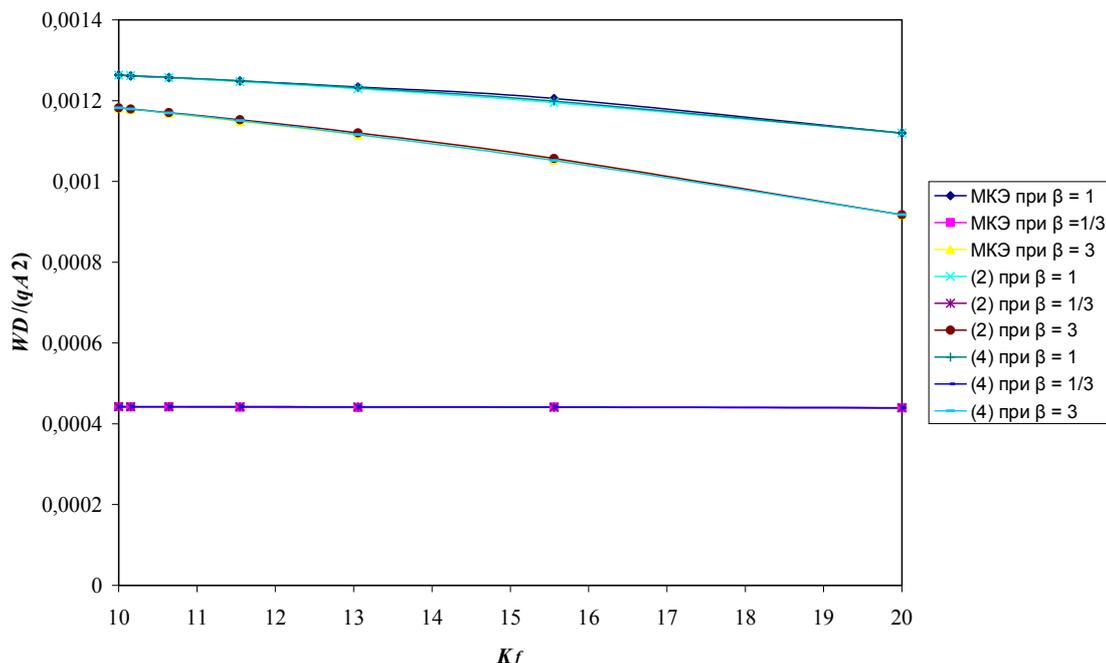


Рисунок 4 – Графики зависимости $w - K_f$ для пластинок с комбинированным опиранием (рис. 1, в) при некоторых β

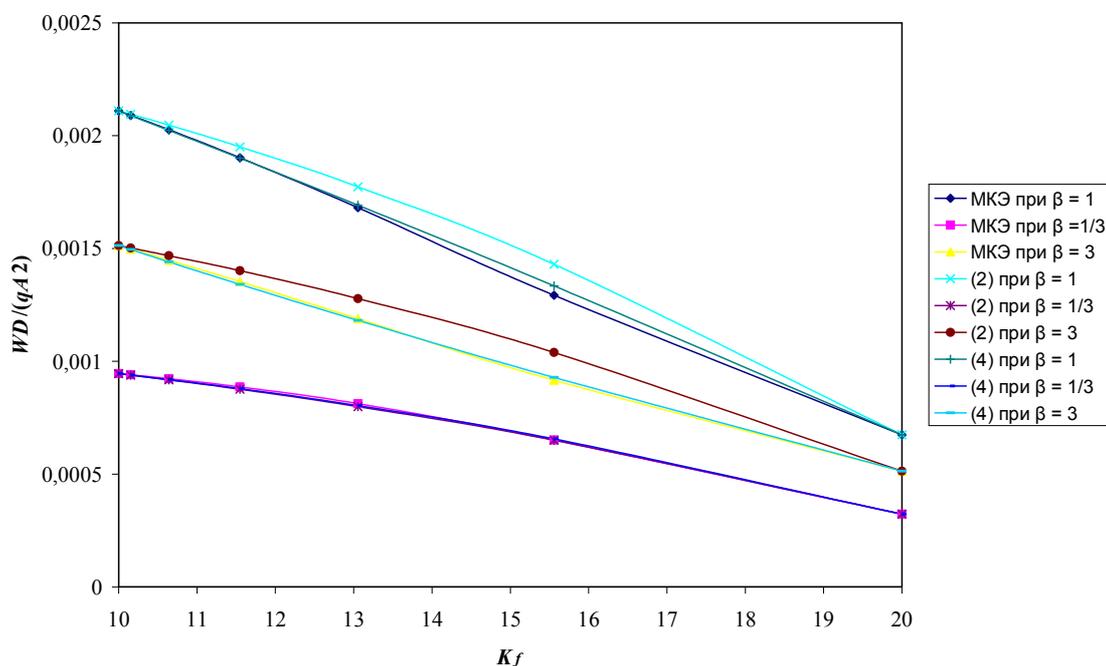


Рисунок 5 – Графики зависимости $w - K_f$ для пластинок с комбинированным опиранием (рис. 1, е) при некоторых β

Анализ приведенных в таблице 2 данных показывает высокую степень корреляции параметра m с соотношением D_x/D_y при заданных граничных условиях. С учетом того, что:

$$D_x = (E_x h^3) / [12(1 - \nu_x \nu_y)], \quad D_y = (E_y h^3) / [12(1 - \nu_x \nu_y)], \quad \text{получим } D_x/D_y = E_x/E_y. \quad \text{Для}$$

упрощения записи введем обозначение $\beta = E_x/E_y$.

Таблица 2 – Значения параметра m из выражения (4)

D_x/H	D_y/H	β	Вариант граничных условий по рисунку 1									
			a	b	$в$	$г$	$д$	e	$жс$	$з$	$и$	$к$
1	1	1	2	1,5	3	3	2,5	1	3	2	3	3
1	2	0,5	2,5	2	3	3	3	1,5	3	3	3	3
1	3	0,333	2,5	2,5	3	3	3	2	3	3	3	4
2	1	2	1,5	1	2	2,5	2	0,5	0,5	2	3	3
2	2	1	1,5	1,5	2	3	3	1	3	2,5	3	3
2	3	0,667	2	2	2,5	2,5	3	1,5	3	3	3	4
3	1	3	1	1	2	2	1,5	0,5	1,5	1,5	2,5	2,5
3	2	1,5	1	1	2	2,5	2,5	1	0,5	2,5	3	3
3	3	1	1,5	1,5	2	3	3	1	3	3	3	4

С помощью программного комплекса Table Curve 2D получим выражения для $m(\beta)$:

– шарнирно опертая по контуру пластинка: β

$$m = 0,36 + \frac{1,19}{\sqrt{\beta}}, \quad (5)$$

– комбинированные условия опирания (рис. 2, б):

$$m = -0,15 + \frac{1,54}{\sqrt{\beta}}, \quad (6)$$

– комбинированные условия опирания (рис. 2, в):

$$m = \frac{1}{0,25 + 0,18\sqrt{\beta}}, \quad (7)$$

– комбинированные условия опирания (рис. 2, г):

$$m = \frac{1}{0,32 + 0,03 \cdot \beta\sqrt{\beta}}, \quad (8)$$

– комбинированные условия опирания (рис. 2, д, жс, з):

$$m = \frac{1}{0,3 + 0,07 \cdot \beta}, \quad (9)$$

– комбинированные условия опирания (рис. 2, е):

$$m = -0,06 + \frac{1,25}{\sqrt{\beta}}, \quad (10)$$

– комбинированные условия опирания (рис. 2, и):

$$m = \frac{1}{0,33 + 0,06 \cdot \beta\sqrt{\beta}}, \quad (11)$$

– защемленная по контуру пластинка:

$$m = 2,01 + \frac{1,38}{\sqrt{\beta}}. \quad (12)$$

Таким образом, в выражении (4) неизвестными остаются лишь параметры w_0 и B , которые могут быть легко найдены из опорных решений (для прямоугольника и ромба). Сравнение результатов расчета по аппроксимирующей функции (4) со значениями, полученными с помощью МКЭ, показывает, что разница между ними не превосходит 5,3% для всех рассмотренных в данной работе вариантов граничных условий, что является хорошей для инженерных расчетов точностью.

Пример. Требуется с помощью МИКФ определить значение максимального прогиба ортотропной пластинки в виде параллелограмма со сторонами $a = 1,5$ м; $b = 1$ м; $t = 0,02$ м, углом $\alpha = 45^\circ$, $K_f = 12,2565$; $A = 1,0607$ м². Пластинка находится под действием равномерно распределенной нагрузки интенсивностью $q = 1000$ Н/м². Физическими параметрами: модули упругости – $E_x = 7000$ МПа; $E_y = 5500$ МПа; модуль сдвига – $G_{xy} = 800$ МПа; коэффициент Пуассона –

на $-v_x = 0,07$. Ось ортотропии ox направлена вдоль стороны a . Условия закрепления пластинки по контуру представляют собой комбинацию шарнирного опирания и жесткого защемления вдоль ее сторон (см. рис. 1, e).

Воспользуемся геометрическим преобразованием, приведенным на рисунке 2, и аппроксимирующей функцией (2). Параметры очертания прямоугольной пластинки: $a = 1,5$ м; $b = 0,7071$ м; $K_{f1} = 10,371$; $A_1 = 1,0607$ м². Параметры очертания пластинки в виде ромба: $a = 1,5$ м; $\alpha = 28,13^\circ$; $K_{f2} = 16,970$; $A_2 = 1,0607$ м². Значения максимальных прогибов $w_1 = 0,727$ мм; $w_2 = 0,225$ мм соответственно.

Пользуясь методикой МИКФ, получим:

$$B = \frac{w_1 - w_2}{K_{f1}^2 - K_{f2}^2} = \frac{0,727 - 0,225}{10,371^2 - 16,970^2} = -0,00278 ;$$

$$w_0 = w_1 - b \cdot K_{f1}^2 = 0,727 + 0,00278 \cdot 10,371^2 = 1,026 .$$

Подставляя полученные значения в (2) имеем:

$$w = 1,026 - 0,00278 \cdot 12,257^2 = 0,608 \text{ мм} .$$

Этот результат отличается на 7,8% от решения, полученного с помощью МКЭ при густоте 1750 КЭ на пластинку ($w = 0,564$ мм).

Решим ту же задачу, пользуясь аппроксимирующей функцией (4). Из выражения (10) находим значение параметра m :

$$m = -0,06 + \frac{1,25}{\sqrt{\beta}} = -0,06 + \frac{1,25}{\sqrt{1,273}} = 1,05 ,$$

где $\beta = \frac{E_x}{E_y} = \frac{7000}{5500} = 1,273 .$

Для нахождения параметров w_0 и B воспользуемся опорными решениями:

$$B = \frac{w_1 - w_2}{K_{f1}^2 - K_{f2}^2} = \frac{0,727 - 0,225}{10,371^{1,05} - 16,970^{1,05}} = -0,0636 ;$$

$$w_0 = w_1 - b \cdot K_{f1}^{1,05} = 0,727 + 0,0636 \cdot 10,371^{1,05} = 1,468 .$$

Таким образом,

$$w = w_0 + b \cdot K_{f1}^m = 1,468 - 0,0636 \cdot 12,257^{1,05} = 0,584 \text{ мм} .$$

Полученное значение на 3,55% отличается от решения по МКЭ.

Выводы

1. Получена новая аппроксимирующая функция (4), позволяющая существенно повысить точность вычисления максимальных прогибов с помощью МИКФ для упругих ортотропных пластинок в виде параллелограммов с комбинированными граничными условиями.

2. Параметр m из выражения (4) следует принимать по одному из выражений (5)...(12) в зависимости от условий закрепления пластинки по контуру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов [Текст] / Л. Сегерлинд. – М.: Мир, 1979. – 392 с.
2. Киселев, А.П. Метод конечных элементов в решении трехмерных задач теории упругости [Текст] / А.П. Киселев // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2007. – №4. – С. 11-17.
3. Коробко, А.В. Метод интерполяции по коэффициенту формы в механике деформируемого твердого тела [Текст] / А.В. Коробко. – Ставрополь: Изд-во Ставропольского университета, 1995. – 166 с.
4. Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости [Текст] / А.В. Коробко. – М.: АСВ, 1999. – 320 с.
5. Савин, С.Ю. Развитие и применение метода интерполяции по коэффициенту формы к решению задач поперечного изгиба упругих ортотропных пластинок [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.17 / Савин Сергей Юрьевич. – Орел, 2013. – 20 с.
6. Коробко, В.И. Изгиб прямоугольных ортотропных пластинок с однородными и комбинированными граничными условиями [Текст] / В.И. Коробко, С.Ю. Савин // Строительство и реконструкция. – Орел: «Госуниверситет – УНПК». – 2011. – №5. – С. 33-39.

7. Коробко, В.И. Изгиб ортотропных пластинок в виде параллелограмма с однородными и комбинированными граничными условиями [Текст] / В.И. Коробко, С.Ю. Савин // Строительная механика и расчет сооружений. – 2012. – №2. – С. 18-23.

8. Савин, С.Ю. Выбор аппроксимирующих функций при решении задачи поперечного изгиба ортотропных пластинок в виде параллелограммов с помощью МИКФ [Текст] / С.Ю. Савин // Проблемы оптимального проектирования сооружений: доклады Всероссийской конференции. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин). – 2014. – С. 360-367.

С.Ю. Савин

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

М.А. Скотникова

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Магистр кафедры «Строительные конструкции и материалы»

S. SAVIN, M. SKOTNIKOVA

**IMPROVEMENT OF THE INTERPOLATION TECHNIQUE
BY SHAPE FACTOR TO COMPUTE PARALLELOGRAM
ELASTIC ORTHOTROPIC PLATES**

The paper considers the problem of transverse bending of parallelogram elastic orthotropic plates with combined boundary conditions, loaded by evenly distributed loading. For solving of this problem it is proposed to use the interpolation technique by shape factor. In this paper it proposes a new approximation function. The results of the computation that were obtained by this function compares with the solutions of other functions, as well as solutions obtained by the finite element method.

Keywords: *parallelogram orthotropic plate, the maximum deflection, homogenous and combined boundary conditions, the interpolation technique by shape factor, approximating functions.*

BIBLIOGRAPHY

1. Segerlind, L. Primenenie metoda konechnykh jelementov [Tekst] / L. Segerlind. – M.: Mir, 1979. – 392 s.
2. Kiselev, A.P. Metod konechnykh elementov v reshenii trekhmernykh zadach teorii uprugosti [Tekst] / A.P. Kiselev // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy. – 2007. – №4. – S. 11-17.
3. Korobko, A.V. Metod interpoljacji po koeficientu formy v mehanike deformiruемого tverdogo tela [Tekst] / A.V. Korobko. – Stavropol': Izd-vo Stavropol'skogo universiteta, 1995. – 166 s.
4. Korobko, A.V. Geometricheskoe modelirovanie formy oblasti v dvumernykh zadachah teorii uprugosti [Tekst] / A.V. Korobko. – M.: ASV, 1999. – 320 s.
5. Savin, S.Ju. Razvitie i primenenie metoda interpoljacji po koeficientu formy k resheniju zadach poperechnogo izgiba uprugih ortotropnykh plastinok [Tekst]: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.23.17 / Savin Sergej Jur'evich. – Orel, 2013. – 20 s.
6. Korobko, V.I. Izgib prjamougol'nykh ortotropnykh plastinok s odnorodnymi i kombinirovannymi granichnymi uslovijami [Tekst] / V.I. Korobko, S.Ju. Savin // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: «Gosuniversitet – UNPK». – 2011. – №5. – S. 33-39.
7. Korobko, V.I. Izgib ortotropnykh plastinok v vide parallelogramma s odnorodnymi i kombinirovannymi granichnymi uslovijami [Tekst] / V.I. Korobko, S.Ju. Savin // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 2012. – №2. – S. 18-23.
8. Savin, S.Ju. Vybor approssimirujushih funkcyj pri reshenii zadachi poperechnogo izgiba ortotropnykh plastinok v vide parallelogrammov s pomoshh'ju MIKФ [Tekst] / S.Ju. Savin // Problemy optimal'nogo proektirovanija sooruzhenij: doklady Vserossijskoj konferencii. – Novosibirsk: NGASU (Sibstrin). – 2014. – S. 360-367.

S. Savin

State university – educational-science-production complex, Orel
Candidate of technical science, senior lecturer of department «Construction structures and materials»
E-mail: suwin@yandex.ru

M. Skotnikova

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

СТЕПАНОВ А.Ю., РИМШИН В.И.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ АРМАТУРОЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

В статье рассматриваются задачи по применению композитной арматуры в строительных конструкциях мостовых сооружениях, приводятся примеры испытаний конструкций с применением стеклопластиковой арматуры на динамические нагрузки.

Ключевые слова: *строительные конструкции, композитная арматура, динамические и сейсмические нагрузки.*

Арматура композитная полимерная имеет более чем 25 летний опыт научных исследований и опытно экспериментальных и практических работ в области изучения механизма и кинетики взаимодействия композитного материала с бетоном. Однако анализ отечественного и зарубежного опыта применения арматуры композитной полимерной показывает, что за последние 5-10 лет за рубежом активно начали использовать такую арматуру. Некоторые фирмы выходят на наш российский рынок, например, продукция фирмы Schöck (Германия). На рисунке 1 показана продукция этой фирмы. Профиль у нее нарезается по затвердевшему связующему, что приводит к нарушению целостности структуры композитного тела стержня и может негативно повлиять на эксплуатационные свойства, что, на наш взгляд, существенный недостаток.

Большой интерес представляют работы Канады. В основном в Канаде внедряется стеклопластиковая арматура. Параметры свойств этой арматуры совпадают с Российскими как по временному сопротивлению в пределах от 900 до 1200 МПа, так и по модулю упругости от 45 до 55 ГПа. Тесные контакты с NSERC Research chair in Innovative Fibre Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Infrastructure поддерживает наша отечественная фирма ООО «Гален». Канада, по информации проф. Brahim Benmokrane, имеет достаточно большой опыт по применению стеклопластиковой арматуры при строительстве и ремонте мостов, тоннелей, применению в стенах резервуаров станций водоподготовки, в настилах автопарковок и т.д. (пример, рис. 2, 3). Расчет конструкций ведется по СП 63.13330-2012 (СНиП 52-01-2003). Вводится коэффициент надежности от 0,45 до 0,65, что может привести к переармированию конструкций.

Из ближнего зарубежья большой интерес представляют работы ООО «Экипаж» (Украина). Ими ведутся интересные научные исследования с точки зрения оценки длительной прочности арматуры композитной полимерной, ползучести и релаксации. В России создана в мае 2012 г. Ассоциация «Неметаллическая композитная арматура», которая на сегодня объединила более 12 производителей и ряд потребителей с целью ускорения работ по исследованию, применению и набору статистических данных по испытаниям реальных конструкций и подготовке нормативной документации.

В настоящее время утвержден Межгосударственный стандарт ГОСТ Р 31.938 «Арматура композитная полимерная». Стандарт введен с 1 января 2014 г. [1]. В стандарте дана классификация, основные параметры и размеры арматуры, приведены требования, которым должна удовлетворять арматура.

По типу непрерывного армирующего наполнителя композитную арматуру подразделяют на виды:

- АСК – стеклокомпозитную;
- АБК – базальтокомпозитную;
- АУК – углекомпозитную;
- ААК – арамидокомпозитную;
- АКК – комбинированную композитную.

Линейка продукции



Классический прямой стержень Schöck ComBAR®



Прямой арматурный стержень – здесь как готовое концевое крепление с анкерным болтом



Изогнутые стержни для применения в качестве конструктивного крепления, изготавливаются на заводе и поставляются на строительную площадку



Фиксатор Schöck ComBAR®



Распорка Schöck ComBAR®

Размеры стандартных изделий

Тип	Диаметр	Стандартная длина
Прямые стержни	8 mm	10,0 m
	12 mm	10,0 m
	16 mm	12,0 m
	25 mm	14,0 m
	32 mm	14,0 m
Стержни с анкерным креплением	12 mm	0,16 bis 3,5 m
	16 mm	0,24 bis 3,5 m
	32 mm	0,27 bis 3,5 m
Изогнутые стержни	12 mm	0,50 bis 6,0 m
	20 mm	0,50 bis 6,0 m

Другая длина- по запросу.

Рисунок 1 – Линейка продукции композитной арматуры на примере фирмы Schöck (Германия)

Сфера применения: бетонные настилы мостов

Мельбурнский мост 2005, Квебек

Вид на построенный мост

Укладка арматуры из стекловолоконного композита

NSERC Research Chair in Innovative Fibre Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Infrastructure

Рисунок 2 – Укладка арматуры из стекловолоконного композита на примере Мельбурнского моста в г. Квебек, Канада



Рисунок 3 – Пример технологии «софт-ай» при строительстве тоннелей в г. Торонто, Канада

Физико-механические характеристики различных видов АКП должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики различных видов арматуры композитной полимерной

Наименование показателя	АСК	АБК	АУК	ААК	АКК
Предел прочности при растяжении МПа, не менее	800	800	1400	1400	1000
Модуль упругости при растяжении ГПа, не менее	50	50	130	70	100
Предел прочности при сжатии МПа, не менее	300	300	300	300	300
Предел прочности при поперечном срезе МПа, не менее	150	150	350	190	190

Разработка ГОСТ – уже существенное достижение в работе с арматурой композитной полимерной (АКП), но этого недостаточно для масштабного ее внедрения в строительных конструкциях. Сейчас ведутся работы по разработке свода правил по расчету и проектированию конструкций с АКП и мы предполагаем в дальнейшем внести изменения в СП 63.13330-2012 (СНиП 52-01-2003) [2].

Но количество накопленных данных по испытанию конструкций из бетонов, армированных АКП, ограничено, хотя свойства самой арматуры изучены более детально.

Для уточнения коэффициентов расчета, коэффициентов запаса необходимо провести испытания ряда конструкций. Практически не ясен вопрос по армированию конструкций, предназначенных для эксплуатации в сейсмических районах. Проблема заключается в том, что АКП не имеет площадки текучести, хотя прочность ее на растяжение в 1,5-2 раза выше стали А500С, модуль упругости АКП ниже металла в 3,0-3,5 раза. Преимуществом ее является низкая плотность 1,8-1,9 т/м³, что в 3,5-4 раза меньше, чем металлической арматуры.

В литературе имеются сведения о сцеплении арматуры композитной полимерной с бетоном, есть собственные результаты испытаний по определению зоны заанкеривания арматуры различного диаметра в бетоне, он равняется, как правило, 25 диаметрам арматуры периодического профиля [3, 4, 5]. Однако достаточные экспериментальные данные по действию сейсмической нагрузки в отечественной и зарубежной практике отсутствуют.

В 2009 году ЦНИИСК им В.А. Кучеренко, Центр исследований сейсмостойкости сооружений выполнил лабораторные исследования бетонных конструкций, армированных арматурой стеклопластиковой (производитель ООО «Меркурий-02») на динамические (сейсмические) воздействия, соответствующие 7-9 бальной сейсмике.

В процессе испытаний частота динамической нагрузки изменялась в интервале от 2,6 до 16,6 Гц. Скорость нагружения образцов осуществлялась от 200 до 300 циклов в минуту.

Были испытаны 4 серии бетонных панелей, армированных стеклопластиковой арматурой. В процессе проведения эксперимента ускорение в уровне основания платформы колебалось от 11,2 до 95,4 см/с², что соответствует сейсмическому воздействию от 5 до 9 баллов. Авторы не обнаружили механических повреждений арматуры в испытанных образцах. Стеклопластиковая арматура рекомендована ими для применения в качестве рабочей арматуры в бетонных конструкциях зданий для районов с сейсмостойкостью 7-9 баллов. К сожалению, авторы не фиксируют состояние бетона в конструкции: были ли трещины, ширину их раскрытия, прогибы. Не рассмотрен вопрос рассеяния (диссипации) энергии при появлении трещин, учитывая, что петля гистерезиса может иметь иной вид, чем в ж/б конструкциях.

Решение вопроса о применении арматуры композитной полимерной в конструкциях зданий и сооружений в сейсмических районах требует детального изучения [6-9]. Необходимые вопросы для решения:

- влияние вида и диаметра арматуры на совместную работу с бетоном при сейсмических нагрузках;
- оценка степени разрушения бетона, армированного АКП;
- оценка деформационных характеристик, армированных АКП;
- детальное исследование динамического поведения таких конструкций в целом.

В настоящее время необходимо продолжить работы в данном направлении для получения необходимых данных для расчета конструкций из бетона, армированного АКП и выявить преимущества и недостатки применения АКП в конструкциях зданий и сооружений, предназначенных для сейсмических районов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 31.938-2012 «Арматура композитная полимерная. Общие технические требования» [Текст].
2. Научно-технический отчет «Разработка СП «Конструкции из бетона с арматурой композитной полимерной» [Текст] – М.: НИИЖБ ГНЦ «Строительство», 2013.
3. Кустикова, Ю.О. Практические рекомендации и технико-экономическое обоснование применения композитной арматуры в железобетонных конструкциях зданий и сооружений [Текст] / Ю.О. Кустикова, В.И. Римшин, Л.И. Шубин // Жилищное строительство. – М., 2014. – №7. – С. 14-19.
4. Кустикова, Ю.О. Напряженно-деформированное состояние базальтопластиковой арматуры в железобетонных конструкциях [Текст] / Ю.О. Кустикова, В.И. Римшин // Промышленное и гражданское строительство. – М., 2014. – №6. – С. 6-9.
5. Римшин, В.И. Теоретические основы сцепления стеклобазальтопластиковой арматуры с бетоном [Текст] / В.И. Римшин, Ю.О. Кустикова // Известия ОрелГТУ «Строительство, Транспорт». – Орел: ОрелГТУ. – 2009. – №2/22 (554). – С. 29-33.
6. Римшин, В.И. Актуальная проблема: сейсмостойкость зданий и сооружений [Текст] / В.И. Римшин, А.П. Кириллов // Бюллетень строительной техники. – М., 1996. – №1. – С. 40.
7. Курзанов, А.М. СНиП «Строительство в сейсмостойких районах» (1 редакция) [Текст] / А.М. Курзанов, В.И. Римшин // Информация РААСН. – М., 1998. – №2. – С. 34-35.
8. Бондаренко, В.М. Механизм сейсмических разрушений зданий [Текст] / В.М. Бондаренко, А.М. Курзанов, В.И. Римшин // Вестник Российской академии наук. – т. 70. – 2000. – №11. – С. 1005-1009.
9. Саламахин, П.М., Решетников И.В. К лучшему способу учета дополнительных напряжений, возникающих в деревожелезобетонных пролетных строениях автодорожных мостов при понижении температуры среды [Текст] / П.М. Саламахин, И.В. Решетников // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2015. – №1.

А.Ю. Степанов

Департамент градостроительной политики г. Москвы
Кандидат технических наук, доцент
Тел.: +7 (905) 781-6686
E-mail: igkk@mail.ru

В.И. Римшин

Московский государственный строительный университет, г. Москва
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Городское строительство, коммунальное хозяйство и сервис»
Тел.: +7 (926) 530-9315
E-mail: igkk@mail.ru

A. STEPANOV, V. RIMSHIN

STRESS-STRAIN STATE OF BUILDINGS AND STRUCTURES REINFORCED COMPOSITE POLYMERIC REINFORCEMENT IN SEISMIC EFFECTS

The article deals with the problem on the use of composite reinforcement in structures bridge structures, examples of test structures using FRP reinforcement on the dynamic loads.

Keywords: building construction, composite rebar, dynamic and seismic loads.

BIBLIOGRAPHY

1. GOST 31.938-2012 «Аrmatura kompozitnaja polimernaja. Obshhie tehicheskie trebovanija» [Tekst].
2. Nauchno-tehnicheskij otchet «Razrabotka SP «Konstrukcii iz betona s armaturoj kompozitnoj polimernoj» [Tekst] – M.: NIIZhB GNC «Stroitel'stvo», 2013.
3. Kustikova, Ju.O. Prakticheskie rekomendacii i tehniko jekonomicheskoe obosnovanie primeneniya kompozitnoj armatury v zhelezobetonnyh konstrukcijah zdaniy i sooruzhenij [Tekst] / Ju.O. Kustikova, V.I. Rimshin, L.I. Shubin // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – M., 2014. – №7. – S. 14-19.
4. Kustikova, Ju.O. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie bazal'toplastikovej armatury v zhelezobetonnyh konstrukcijah [Tekst] / Ju.O. Kustikova, V.I. Rimshin // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – M., 2014. – №6. – S. 6-9.
5. Rimshin, V.I. Teoreticheskie osnovy scepnenija steklobazal'toplastikovej armatury s betonom [Tekst] / V.I. Rimshin, Ju.O. Kustikova // Izvestija OrelGTU «Stroitel'stvo, Transport». – Orel: OrelGTU. – 2009. – №2/22 (554). – S. 29-33.
6. Rimshin, V.I. Aktual'naja problema: sejsmostojkost' zdaniy i sooruzhenij [Tekst] / V.I. Rimshin, A.P. Kirillov // Bjulleten' stroitel'noj tehniki. – M., 1996. – №1. – S. 40.
7. Kurzanov, A.M. SNiP «Stroitel'stvo v sejsmostojkih rajonah» (1 redakcija) [Tekst] / A.M. Kurzanov, V.I. Rimshin // Informacija RAASN. – M., 1998. – №2. – S. 34-35.
8. Bondarenko, V.M. Mehanizm sejsmicheskikh razrushenij zdaniy [Tekst] / V.M. Bondarenko, A.M. Kurzanov, V.I. Rimshin // Vestnik Rossijskoj akademii nauk. – t. 70. – 2000. – №11. – S. 1005-1009.
9. Salamahin, P.M., Reshetnikov I.V. K luchshemu sposobu ucheta dopolnitel'nyh naprjazhenij, vznikajushih v derevozhelezobetonnyh proletnyh stroenijah avtodorozhnyh mostov pri ponizhenii temperatury sredy [Tekst] / P.M. Salamahin, I.V. Reshetnikov // Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. – 2015. – №1.

A. Stepanov

Department of urban planning policy of Moscow, Moscow
Candidate of technical sciences, associate professor
Ph.: +7 (905) 781-6686
E-mail: igkk@mail.ru

V. Rimshin

Moscow state university of civil engineering, Moscow
Doctor of technical sciences, professor, head of the department «Urban construction, utilities and service»
Ph.: +7 (926) 530-9315
E-mail: igkk@mail.ru

ТУРКОВ А.В., МАРФИН К.В.

СПОСОБЫ УЧЕТА ПОДАТЛИВОСТИ ЖЕСТКОГО ЗАЩЕМЛЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТА

В статье рассматриваются два способа моделирования жесткого защемления в программном комплексе SCAD при проведении статических и динамических исследований для пластин. Первый основан на введении дополнительных стержней в конечные элементы, обладающих определенной продольной жесткостью. Второй способ заключается в моделировании жесткого защемления путем введения связей конечной жесткости.

Ключевые слова: податливость, моделирование жесткого защемления, статические испытания пластины, динамические испытания пластины.

При проведении статических испытаний пластин, граничными условиями которых является жесткое защемление, возникает сложность в учете податливости заделки на контуре. В работе [1] рассмотрена методика проведения подобных экспериментов, однако, вопрос моделирования жесткого защемления остался актуальным.

Экспериментальные исследования на статические и динамические нагрузки проводились на стенде, описанном в [1]. Испытания выполнены для одной пластины из древесноволокнистой плиты толщиной 5,5 мм, максимальная равномерно распределенная нагрузка составила $q = 25 \text{ Н/м}^2$. Условия закрепления пластины по контуру соответствовали податливому защемлению. Загружение до максимальной нагрузки проводилось три раза с пятнадцатиминутным перерывом между испытаниями. Прогиб определялся индикатором часового типа ИЧ-25 с ценой деления 0,01 мм, установленном на штативе в центре пластины [1]. Измерения основных частот колебаний выполнялись при помощи виброанализатора «ВИБРАН – 2.0». Испытания проводились также не менее трёх раз до получения стабильных значений экспериментальных собственных частот колебаний. Максимальный прогиб при податливом защемлении по контуру составил $W_0=3,05\text{мм}$, а частота собственных колебаний $\omega = 164,2 \text{ с}^{-1}$.

При моделировании данной пластины с жёстким защемлением по контуру в программном комплексе SCAD максимальный прогиб и частота собственных колебаний составили соответственно $W_0=2,66 \text{ мм}$ и $\omega = 175,73 \text{ с}^{-1}$, что существенно расходится с полученными экспериментальными данными. В нашем исследовании предлагается два способа учета податливости заделки для пластин.

Моделирование жесткого защемления путем введение дополнительных стержней

Моделируем пластину в программном комплексе SCAD Office и вводим дополнительные вертикальные стержни, которые обладают определенной продольной EA и изгибной EI_y и EI_x жесткостью (рис. 1). Изменяя последовательно изгибную жесткость от 10^{-5} до $10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}^2$ (табл. 1), подбираем значение, при котором численные прогиб и частота собственных поперечных колебаний пластинки совпадет с экспериментальными. Длина дополнительных стержней принята равной толщине пластины $\delta = 5,5 \text{ мм}$, концы стержней ограничили линейными связями и углами поворота во всех направлениях.

Таблица 1 – Зависимость прогиба и частот собственных колебаний пластины в зависимости от изгибной жесткости дополнительных стержней

	Изгибная жесткость дополнительных стержней EI , $\text{Н}\cdot\text{м}^2$								
	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	0,01	0,1	1	10	100	10^3
Прогиб W_0 , (мм)	8,65	8,61	8,26	6,19	3,44	2,77	2,7	2,69	2,69
Круговая частота, ω (с^{-1})	99,49	99,72	101,89	118,3	160,2	178,65	181,2	181,4	181,5

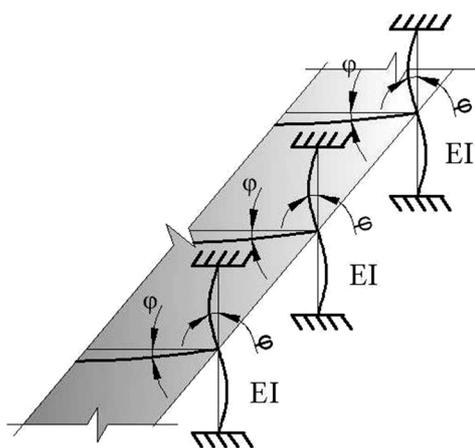


Рисунок 1 – Моделирование жесткого защемления путем введение дополнительных стержней

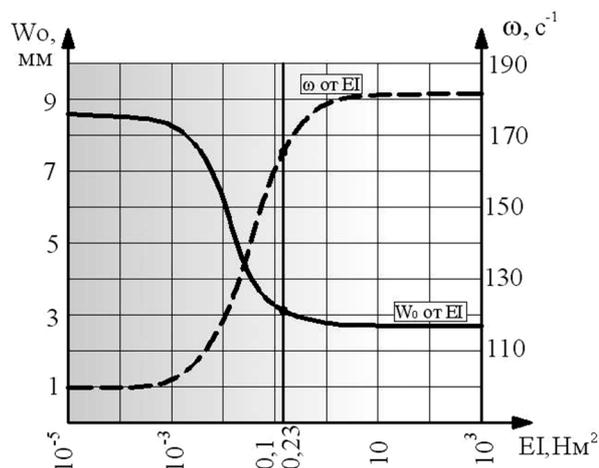


Рисунок 2 – Изменение частот собственных колебаний (ω) и максимального прогиба (W_0) в зависимости от изгибной жесткости дополнительных стержней

По данным таблицы 1 построен график зависимости «Изгибная жесткость дополнительных стержней – прогиб» и «Изгибная жесткость дополнительных стержней – частота собственных колебаний» (рис. 2). Очевидно, что при значениях изгибной жесткости, близкой к нулю, получаем шарнирное опирание пластинки, а при очень больших значениях – жесткую заделку. Экспериментальные данные жестко защемленной пластины соответствуют смоделированной с дополнительными стержнями по контуру опирания длиной $\delta = 5,5$ мм изгибной жесткости стержней $EI_x = EI_y = 0,23$ Н·м². Максимальный прогиб при использовании данной расчетной схемы составил $W_0 = 3,05$ мм, а частота собственных колебаний $\omega = 164,2$ с⁻¹, что практически полностью совпадает с экспериментальными данными.

Моделирование жесткого защемления путем введение связей конечной жесткости

Заменим жесткое защемление пластины по контуру на шарниры и введем в эти узлы связи конечной жесткости, ограничивающие поворот U_x и U_y в узлах заделки. Последовательно изменяя параметры U_x и U_y подбираем значение, при котором численный прогиб пластинки совпадет с экспериментальным. Результаты исследований приведены в таблице 2.

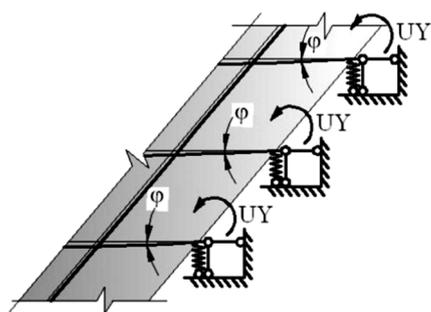


Рисунок 3 – Моделирование жесткого защемления путем введение связей конечной жесткости

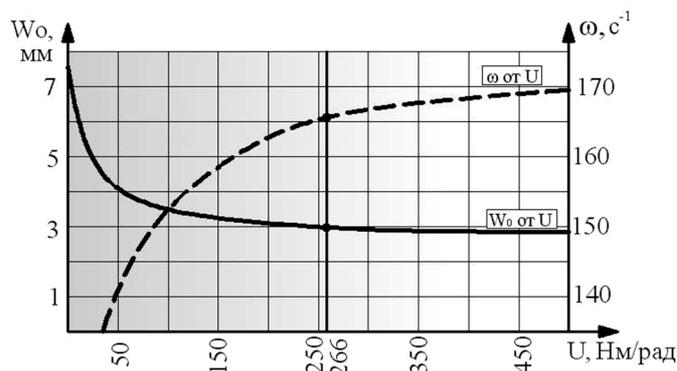


Рисунок 4 – Изменение частот собственных колебаний (ω) и максимального прогиба (W_0) в зависимости от жесткости связей конечной жесткости

Таблица 2 – Зависимость прогиба и частот собственных колебаний пластины в зависимости от жесткости связей конечной жесткости

	Жесткость связей конечной жесткости, Н·м/рад										
	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Прогиб W_0 , (мм)	7,67	4,08	3,49	3,25	3,12	3,04	2,98	2,93	2,9	2,88	2,86
Круговая частота, ω (с ⁻¹)	101,87	141,4	153,22	158,95	162,3	164,6	166,2	167,4	168,33	169,07	168,68

По данным таблицы 2 построен график зависимости «Жесткость связей конечной жесткости – прогиб» и «Жесткость связей конечной жесткости – частота собственных колебаний» (рис. 4).

Экспериментальные данные жестко заземленной пластины соответствуют смоделированной с замененной жесткой заделки по контуру на шарнир с введением связей конечной жесткости $U_X = U_Y = 266,8 \text{ Н}\cdot\text{м/рад}$. Максимальный прогиб при использовании данной расчетной схемы составил $W_0=3,01 \text{ мм}$, а частота собственных колебаний $\omega = 165,2 \text{ с}^{-1}$, различия с экспериментальными данными составляет порядка 1%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Турков, А.В. Методика проведения эксперимента для статического и динамического испытания изотропных составных пластин на податливых связях [Текст] / А.В. Турков, К.В. Марфин // Строительство и реконструкция. – Орел: ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК». – 2014. – №4. – С. 30-35.

А.В. Турков

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Доктор технических наук, заведующий кафедрой «Городское строительство и хозяйство»
E-mail: aturkov@bk.ru

К.В. Марфин

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции и материалы»
E-mail: marfinkirill@yandex.ru

A. TURKOV, K. MARFIN

METHOD OF ACCOUNTING PLIABLE RIGID SUPPORT DURING THE EXPERIMENT

This article discusses two methods of simulation of rigid support in the software package SCAD during static and dynamic studies for the plates. The first is based on the introduction of additional rods into finite elements having a certain longitudinal rigidity. The second method is to model rigid support by introducing links finite stiffness.

Keywords: *compliance, modeling swivel bearing, static test plate, dynamic test plate.*

BIBLIOGRAPHY

1. Turkov, A.V. Metodika provedenija jeksperimenta dlja staticheskogo i dinamicheskogo ispytaniya izotropnyh sostavnyh plastin na podatlivyh svjazjah [Tekst] / A.V. Turkov, K.V. Marfin // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Орел: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK». – 2014. – №4. – S. 30-35.

A. Turkov

State university – educational-science-production complex, Orel
Doctor of technical sciences, head of the department «Urban construction and management»
E-mail: aturkov@bk.ru

K. Marfin

State university – educational-science-production complex, Orel
Senior lecturer of the department «Structures and Materials»
E-mail: marfinkirill@yandex.ru

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КИРПИЧНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ СТАРОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Для решения задач по определению достоверной картины технического состояния здания и его конструктивных элементов предлагается подход, основанный на вероятностном теоретическом аппарате методов технической диагностики. В статье приведен пример диагностирования состояний элементов кирпичных стен для зданий старой городской застройки на основе уровневой формулировки задачи. Для построения иерархической схемы использованы методы теории информации. На основе уровневого анализа получены численные значения вероятностей отнесения кирпичных стен здания к установленным в нормах пяти категориям технического состояния.

Ключевые слова: *техническая диагностика, вероятностные методы диагностирования, формула Байеса, методы теории информации, энтропия, максимальная энтропия, остаточная энтропия, уровневая формулировка задачи, иерархическая схема диагностирования.*

Постановка задачи. Постановка задачи при вероятностных методах распознавания такова. Имеется система (конструктивный элемент, здание или сооружение в целом), которая находится в одном из случайных состояний S_i . Считается, что состояния сформулированы в соответствии пятью категориями в нормах [1]. Предполагается также, что сформулирована совокупность признаков, каждый из которых с определенной вероятностью характеризует состояние системы (конструкции). В итоге требуется построить решающее правило, с помощью которого предъявленная (диагностируемая) совокупность признаков была бы отнесена к одному из возможных состояний (диагнозов).

Важное место в решении задач распознавания состояний систем отводится статистическим методам. Главное их преимущество состоит в возможности одновременного учета диагностических признаков различной физической природы, так как они характеризуются безразмерными величинами – вероятностями их проявления при различных состояниях системы. Одним из основных статистических методов является метод, основанный на простой формуле Байеса [2].

Суть метода состоит в том, что, если имеется состояние S_i (диагноз S_i) и простой признак k_j , встречающийся в этом состоянии, то вероятность совместного появления событий (наличия у системы состояния S_i и признака k_j) в соответствии с понятиями теории вероятностей (условная вероятность, зависимость несовместных событий), определится следующим образом:

$$P(S_i k_j) = P(S_i)P(k_j / S_i) = P(k_j)P(S_i / k_j).$$

Из этого соотношения и вытекает простая формула Байеса:

$$P(S_i / k_j) = P(S_i) \frac{P(k_j / S_i)}{P(k_j)}.$$

В случае, когда обследование проводится по комплексу признаков, формула Байеса имеет вид:

$$P(S_i / K^*) = P(S_i)P(K^* / S_i) / P(K^*),$$

где $P(S_i / K^*)$ – вероятность диагноза S_i после того, как стали известны результаты обследования по комплексу признаков K .

Удобнее пользоваться обобщенной формулой Байеса, которая может быть записана так:

$$P(S_i / K^*) = \frac{P(S_i)P(K^* / S_i)}{\sum_{s=1}^n P(S_s)P(K^* / S_s)}. \quad (1)$$

Для определения вероятности состояний по методу Байеса составляется, так называемая, диагностическая матрица. Эта матрица формируется в виде таблицы вероятностей признаков и их разрядов при различных диагнозах. Таким образом, таблица строится на основе предварительного статистического материала, т.е. в нее включены априорные вероятности состояний и признаков (табл. 1). Как видно, приняты пять состояний S_i (исправное, работоспособное, ограниченно работоспособное, недопустимое и аварийное) и восемь двух- и трехразрядных диагностических признаков k_{js} . После проведения серии расчетов на основе байесовской процедуры по зависимости (1) получается распределение апостериорных вероятностей $P(S_i/K^*)$ диагностируемых состояний либо по всей совокупности признаков и их разрядов, либо по части из них. **Решающее правило, в соответствии с которым принимается решение о конкретном диагнозе, состоит в том, что объект с комплексом признаков K^* относится к состоянию S_i , если апостериорная вероятность этого состояния S_i является наибольшей, т.е.:**

$$K^* \in S_i, \text{ если } P(S_i/K^*) > P(S_j/K^*) \quad (j = 1, 2, \dots, n; i \neq j). \quad (2)$$

Предложенная процедура диагностирования с использованием методов распознавания состояний и методов теории информации для строительных конструкций зданий применена впервые, что определяет научную новизну работы.

Основная часть исследования. Сказанное выше иллюстрируется примером диагностики состояний участков кирпичных стен здания старой городской постройки, имеющего прямоугольную планировочную компоновку. Схематично здание представлено на рисунке 1.

Все фасадные стены (лицевая U_1 , дворовая U_2 и две торцевые U_3 и U_4) разделяются на три поэтажных участка – конструктивных элемента низшего (базисного) уровня. Для лицевого фасада U_1 это – U_{11} , U_{12} и U_{13} . Каждый из них – это полоса шириной, равной высоте этажа, и длиной, равной длине стены рассматриваемого фасада. После обследования каждого такого участка выявляются наличие или отсутствие указанных в таблице 1 разрядов признаков диагностирования k_{js} , т.е., как это принято в технической диагностике, выявляется реализация признаков k_{js} .

Пусть, например, для первого участка U_{11} лицевого фасада при обследовании очередного здания реализация вероятностей признаков $p(k_{is}/S_i)$ получилась в виде следующей последовательности: первый признак – k_{11} , второй признак – k_{21} , третий признак – k_{32} , четвертый признак – k_{42} , пятый признак – k_{52} , шестой признак – k_{61} , седьмой признак – k_{72} и восьмой признак – k_{82} . Численные значения вероятностей $p(k_{is}/S_i)$ в соответствующих строках матрицы выделены цветом (табл. 1). После этого для рассматриваемого участка стены выполняется расчет апостериорных вероятностей $P(S_i/K^*)$ по обобщенной формуле Байеса (1). В результате распределение апостериорных вероятностей в соответствующих обозначениях для U_{11} получилось в виде следующего ряда чисел:

$$P(U_{11}^1 / K^*) = 0,0001; \quad P(U_{11}^2 / K^*) = 0,001; \quad P(U_{11}^3 / K^*) = 0,167;$$

$$P(U_{11}^4 / K^*) = 0,598; \quad P(U_{11}^5 / K^*) = 0,235;$$

Как видно, участок стены в пределах высоты первого этажа U_{11} в данном примере в соответствии с правилом (2) может быть отнесен к четвертой категории технического состояния с вероятностью $P(U_{11}^4 / K^*) = 0,598$. Учитывая выведенное в работе [3] пороговое значение для вероятностей состояний, эксперт такое решение может принять с полной уверенностью. Следует отметить, что байесовскую процедуру диагностирования состояний проходят только элементы системы низшего (базисного) уровня. В данном примере – это указанные участки стены лицевого фасада, по результатам диагностирования и обработки вероятностных параметров которых строится дальнейшая процедура определения категории технического состояния для группы элементов следующего уровня – стены U_i в целом. Для этого анализ полученных выше численных значений $P(U_{1k}^i / K^*)$ осуществляется с использованием методов теории информации.

В литературных источниках [2, 4, 5, 10] отмечается, что теория информации возникла как математическая теория связи и, далее, получила применение в разных областях науки как общая теория связи статистических систем. В диагностике такими системами являются система состояний S_i (диагнозов) и связанная с ней система диагностических признаков K^* .

Центральное место в теории информации занимает понятие энтропии системы. Энтропия в теории информации характеризует степень неопределенности системы.

Таблица 1 – Диагностическая матрица для участков кирпичных стен

№ п/п	Диагностические признаки	k_{js}	Разряды признаков	$p(k_{js})$	Сост. S_1	Сост. S_2	Сост. S_3	Сост. S_4	Сост. S_5
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
					0,12	0,16	0,41	0,18	0,13
1	Повреждения защитных и отделочных слоев	k_{11}	да	$p(k_{11})$	0,08	0,25	0,51	0,65	0,82
		k_{12}	нет	$p(k_{12})$	0,92	0,83	0,49	0,46	0,18
2	Нарушение сплошности кладки, деструкция	k_{21}	да	$p(k_{21})$	0,06	0,19	0,43	0,77	0,87
		k_{22}	нет	$p(k_{22})$	0,94	0,81	0,57	0,23	0,13
3	Отклонения элементов стен от вертикали	k_{31}	нет	$p(k_{31})$	0,96	0,76	0,50	0,40	0,07
		k_{32}	< пред.	$p(k_{32})$	0,03	0,18	0,35	0,20	0,03
		k_{33}	≥ пред.	$p(k_{33})$	0,01	0,06	0,15	0,40	0,90
4	Увлажн. и замачивание, вымыв. и выветр. раствора	k_{41}	да	$p(k_{41})$	0,06	0,17	0,34	0,51	0,80
		k_{42}	нет	$p(k_{42})$	0,94	0,83	0,66	0,49	0,20
5	Трещинообразование в результате неравномерных осадок	k_{51}	нет	$p(k_{51})$	0,93	0,88	0,69	0,35	0,17
		k_{52}	≤ 2,0 мм	$p(k_{52})$	0,05	0,07	0,21	0,40	0,53
		k_{53}	> 2,0 мм	$p(k_{53})$	0,02	0,05	0,10	0,25	0,30
6	Силовое трещинообразование	k_{61}	нет	$p(k_{61})$	0,89	0,70	0,35	0,20	0,07
		k_{62}	≤ 2,0 мм	$p(k_{62})$	0,08	0,07	0,21	0,40	0,53
		k_{63}	> 2,0 мм	$p(k_{63})$	0,03	0,05	0,10	0,25	0,30
7	Трещинообразование в результате температурных деформаций	k_{71}	нет	$p(k_{71})$	0,84	0,75	0,59	0,25	0,07
		k_{72}	≤ 2,0 мм	$p(k_{72})$	0,10	0,15	0,26	0,45	0,53
		k_{73}	> 2,0 мм	$p(k_{73})$	0,06	0,10	0,15	0,30	0,40
8	Удовлетворение условия по несущей способности	k_{81}	да	$p(k_{81})$	0,94	0,90	0,86	0,69	0,08
		k_{82}	нет	$p(k_{82})$	0,06	0,10	0,14	0,31	0,92

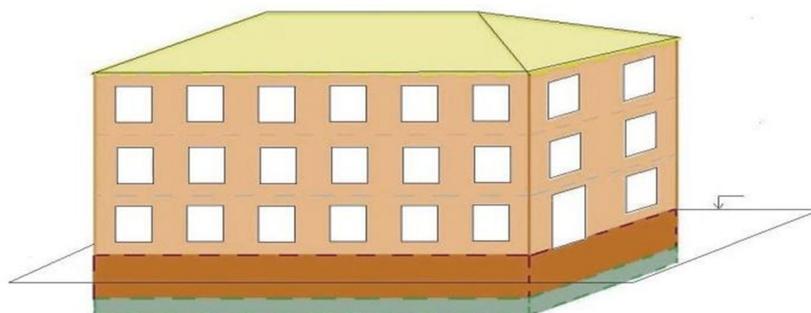


Рисунок 1 – Общий вид здания (схема)

Пусть рассматривается элемент технической системы, который может иметь несколько случайных состояний S_i с вероятностями $P(S_i)$. Если одно из его состояний обязательно реализуется, а два состояния одновременно невозможны (в теории вероятностей – это полная группа несовместных событий), то очевидно:

$$\sum_{i=1}^n P(S_i) = 1.$$

Именно таким, как отмечено выше, является рассматриваемый элемент системы (участок U_{11}) и именно такие системы в рамках теории информации рассматриваются и далее.

В теории информации энтропия системы, имеющей n возможных состояний с вероятностями $P(S_1), P(S_2), \dots, P(S_n)$ в общем случае определяется зависимостью:

$$H(S_n) = \sum_{i=1}^n P(S_i) \log \frac{1}{P(S_i)} = - \sum_{i=1}^n P(S_i) \log P(S_i).$$

Из литературных источников известно, что при выполнении некоторых достаточно общих требований (непрерывности, неубывания энтропии при возрастании числа состояний, аддитивности) указанное определение энтропии является единственным. Так как вероятности состояний любой системы $0 \leq P(S_i) \leq 1$, то энтропия представляет собой существенно положительную величину.

Далее вычисляется энтропия системы, имеющей n состояний. Если они равновероятны, то:

$$H(S_n) = - \sum_{i=1}^n P(S_i) \log P(S_i) = n \frac{1}{n} \log n = \log n.$$

Как видно, энтропия системы с одинаковыми вероятностями состояний равна логарифму числа состояний. Очевидно, что с увеличением числа состояний энтропия возрастает, но гораздо медленнее, чем число состояний. В таком случае важное свойство энтропии состоит в следующем: если система имеет несколько состояний, то энтропия будет максимальной в том случае, когда все состояния равновероятны. В [2] приводится доказательство этому, из которого вытекает важная оценка энтропии произвольной системы:

$$H(S) \leq \log n,$$

где n – число возможных состояний системы.

В данном случае при $n = 5$ значение $H(S)_{max} = \log 5 \approx 0,700$. С учетом априорных вероятностей состояний $P(S_i)$ из таблицы 1 (выделены шрифтом и цветом), значение $H(S)_{max} = 0,646$. Чем ближе энтропия элемента системы к этому значению, тем больше неопределенность при распознавании его состояний. Чем она дальше, т.е. ближе к нулю, тем неопределенность ниже, а значит выше определенность.

В рассматриваемом примере в обозначениях для элемента U_{11} энтропия $H(U_{11})$ состояний этого элемента получилась равной:

$$H(U_{11}) = - \sum_{j=1}^m P(U_{1j}) \log P(U_{1j}) = 0,414.$$

Для продолжения анализа вводится понятие степени определенности рассматриваемого элемента системы в соответствии с зависимостью:

$$V(U_{11}) = H(U_{11})_{max} - H(U_{11}) = 0,646 - 0,414 = 0,232.$$

Таким образом, обследуемый элемент – «участок стены U_{11} » с вероятностью $P(U_{11}^4 / K^*) = 0,598$ относится к четвертой (недопустимой) категории технического состояния со степенью определенности этого состояния, равной $V(U_{11}) = 0,232$. Эти параметры в дальнейшем используются при анализе технического состояния и степени его определенности уже для более сложной структуры – стены в целом (группы элементов), состоящей из указанных выше отдельных элементов-участков. Так, основываясь на терминологии теории информации, величина $V(U_{11})$ представляет собой количество внесенной информации о состоянии. Ее и предлагается рассматривать далее как вклад (долю) состояния данного элемента U_{11} в состояние структуры следующего диагностируемого уровня – стены U_1 в целом.

Пусть далее, для второго U_{12} и третьего U_{13} участков стены этого же фасада U_1 при той же диагностической матрице (таблица 1), но при других реализациях признаков k_{js}^* , распределение расчетных апостериорных вероятностей $P(U_{1k}^i / K^*)$ получилось, например, следующим (формула 1).

Для U_{12}

$$P(U_{12}^1 / K^*) = 0,0001; \quad P(U_{12}^2 / K^*) = 0,004; \quad P(U_{12}^3 / K^*) = 0,430;$$

$$P(U_{12}^4 / K^*) = 0,558; \quad P(U_{12}^5 / K^*) = 0,009.$$

$$H(U_{12}) = - \sum_{j=1}^m P(U_{1j}) \log P(U_{1j}) = 0,326.$$

Энтропия

Максимальная энтропия с учетом априорных вероятностей состояний $P(S_i)$ также равна $H(U_{12})_{\max} = 0,646$.

Степень определенности (остаточная энтропия или количество внесенной информации) $V(U_{12}) = H(U_{12})_{\max} - H(U_{12}) = 0,646 - 0,326 = 0,320$.

Для U_{13}

$$P(U_{13}^1 / K^*) = 0,0002; P(U_{13}^2 / K^*) = 0,008; P(U_{13}^3 / K^*) = \underline{0,799};$$

$$P(U_{13}^4 / K^*) = 0,191; P(U_{13}^5 / K^*) = 0,001.$$

$$H(U_{13}) = -\sum_{j=1}^m P(U_{1j}) \log P(U_{1j}) = 0,236.$$

Энтропия

Степень определенности $V(U_{13}) = H(U_{13})_{\max} - H(U_{13}) = 0,646 - 0,236 = 0,410$.

Полученные вероятностные параметры удобно свести в таблицу 2. На основании данных этой таблицы далее рассматривается пример построения решения для диагностирования состояний группы элементов следующего уровня – стены лицевого фасада U_1 по совокупности состояний ее участков.

В статьях [6, 7] показано, что при определенных допущениях (независимость состояний, как случайных событий, но, в то же время, их совместность) энтропия состояния объединенной группы равна сумме энтропий состояний составляющих ее элементов, то есть для совокупности «лицевой фасад $U_1 = U_{11} U_{12} U_{13}$ » принято:

$$H(U_1) = H(U_{11}) + H(U_{12}) + H(U_{13}) = 0,976.$$

Там же в [6, 7] доказано, что это справедливо и для остаточной энтропии (степени определенности), а именно:

$$V(U_1) = V(U_{11}) + V(U_{12}) + V(U_{13}) = 0,962.$$

Дальнейшее построение решения возможно только в вероятностном виде, поэтому вводится понятие вероятностей степени определенности $P(V_k)$, которые определяются по следующим зависимостям:

$$P(V_1) = V(U_{11}) / V(U_1) = 0,241;$$

$$P(V_2) = V(U_{12}) / V(U_1) = 0,333;$$

$$P(V_3) = V(U_{13}) / V(U_1) = 0,426.$$

Именно эти значения занесены в 9-й столбец таблицы 2. В таблице индекс k означает номер участка стены ($k = 1, 2, 3$). Очевидно, что $\sum P(V_k) = 1,0$.

Таблица 2 – Результаты вероятностного расчета для подсистемы «лицевой фасад U_1 »

№№ элем.	$P(U_{1k}^1)$	$P(U_{1k}^2)$	$P(U_{1k}^3)$	$P(U_{1k}^4)$	$P(U_{1k}^5)$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
Участок U_{11}	0,0001	0,001	0,167	0,598	0,235	0,414	0,232	0,241
Участок U_{12}	0,0001	0,004	0,430	0,558	0,009	0,326	0,320	0,333
Участок U_{13}	0,0002	0,008	0,799	0,191	0,001	0,236	0,410	0,426

Вероятности степени определенности $P(V_k)$ определяют вклад (долю) состояния каждого элемента в состояние группы элементов следующего уровня. Для перехода с уровня базисных элементов, в данном случае участков стен, на следующий уровень диагностирования, представляющий собой группу элементов «лицевой фасад $U_1 = U_{11} U_{12} U_{13}$ », выведены зависимости, позволяющие получить распределение вероятностей состояний для этой группы. Зависимости имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 P_1(U_1)/K^* &= \sum_{k=1}^3 P(U_{1k}^1/K^*)P(V_k) = P(U_{11}^1/K^*)P(V_1) + P(U_{12}^1/K^*)P(V_2) + P(U_{13}^1/K^*)P(V_3) = 0,0001; \\
 P_2(U_1)/K^* &= \sum_{k=1}^3 P(U_{1k}^2/K^*)P(V_k) = P(U_{11}^2/K^*)P(V_1) + P(U_{12}^2/K^*)P(V_2) + P(U_{13}^2/K^*)P(V_3) = 0,005; \\
 P_3(U_1)/K^* &= \sum_{k=1}^3 P(U_{1k}^3/K^*)P(V_k) = P(U_{11}^3/K^*)P(V_1) + P(U_{12}^3/K^*)P(V_2) + P(U_{13}^3/K^*)P(V_3) = 0,524; \\
 P_4(U_1)/K^* &= \sum_{k=1}^3 P(U_{1k}^4/K^*)P(V_k) = P(U_{11}^4/K^*)P(V_1) + P(U_{12}^4/K^*)P(V_2) + P(U_{13}^4/K^*)P(V_3) = 0,411; \\
 P_5(U_1)/K^* &= \sum_{k=1}^3 P(U_{1k}^5/K^*)P(V_k) = P(U_{11}^5/K^*)P(V_1) + P(U_{12}^5/K^*)P(V_2) + P(U_{13}^5/K^*)P(V_3) = 0,060.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Таким образом, следуя правилу (2), техническое состояние стены лицевого фасада можно отнести к третьей категории с вероятностью $P_3(U_1)/K^* = 0,524$. Однако, учитывая правило выведенного в [3] порогового значения, при данном распределении априорных вероятностей окончательное решение следует принять в пользу назначения четвертой категории технического состояния с вероятностью $P_4(U_1)/K^* = 0,411$. Такой результат диагностирования получается очень редко, и автор счел целесообразным из множества вариантов расчета привести именно этот пример, характеризующийся существенной неопределенностью для принятия решения. Об этом свидетельствуют также и результаты расчета энтропии $H(U_1)$ и остаточной энтропии $V(U_1)$. Как видно, численные значения $H(U_1) = 0,976$ и $V(U_1) = 0,962$ получились очень близкими. Дальнейший вероятностный анализ технического состояния выполнен с учетом указанного обстоятельства.

Построение решения по диагностированию состояний групп элементов «дворовый фасад $U_2 = U_{21} U_{22} U_{23}$ », «торцевой фасад $U_3 = U_{31} U_{32} U_{33}$ » и «торцевой фасад $U_4 = U_{41} U_{42} U_{43}$ » осуществляется на основе аналогичных процедур с использованием той же матрицы диагнозов (табл. 1), но с различным набором реализаций признаков. Общие окончательные результаты выполненных расчетов сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Численные значения вероятностных параметров ($l = 1, 2, 3, 4$)

Группы элементов U_l	$P_1(U_l)$	$P_2(U_l)$	$P_3(U_l)$	$P_4(U_l)$	$P_5(U_l)$	$H(U_l)$	$V(U_l)$	$P(V_l)$
Лицевой фасад U_1	0,000	0,005	0,524	0,411	0,060	0,976	0,962	0,252
Дворовый фасад U_2	0,000	0,003	0,185	0,678	0,134	1,058	0,879	0,231
Торцевой фасад U_3	0,006	0,051	0,702	0,240	0,001	0,948	0,989	0,259
Торцевой фасад U_4	0,000	0,010	0,391	0,549	0,050	0,954	0,983	0,258

По данным этой таблицы на основе предложенной выше методики, вычислена энтропия состояний подсистемы «стены здания», как сумма энтропий групп элементов, составляющих стены (колонка 7 таблицы 3):

$$H(U_l) = \sum_{l=1}^4 H(U_l) = H(U_1) + H(U_2) + H(U_3) + H(U_4) = 2,984.$$

Затем численно определена степень определенности или количество внесенной информации (колонка 8 таблицы 3):

$$V(U_l) = \sum_{l=1}^4 V(U_l) = V(U_1) + V(U_2) + V(U_3) + V(U_4) = 3,813$$

и вероятности степени определенности (колонка 9 таблицы 3):

$$\begin{aligned}
 P(V_1) &= V(U_1)/V(U_l) = 0,252, \quad P(V_3) = V(U_3)/V(U_l) = 0,259, \\
 P(V_2) &= V(U_2)/V(U_l) = 0,231, \quad P(V_4) = V(U_4)/V(U_l) = 0,258.
 \end{aligned}$$

Тогда для подсистемы «стены здания» ряд численных значений апостериорных вероятностей состояний $P_l(U_l)/K^*$, вычисленных по зависимостям «перехода», аналогичным (3), получился следующим:

$$P_1(U_1)/K^* = 0,002; P_2(U_1)/K^* = 0,018; P_3(U_1)/K^* = 0,458;$$

$$P_4(U_1)/K^* = 0,464; P_5(U_1)/K^* = 0,059.$$

Графической моделью предложенной процедуры является, так называемое, «диагностическое дерево», пример построения которого для всех конструктивных подсистем всего здания – фундаменты, стены, перекрытия и крыша, со своей иерархией подструктур и уровнями разделения, представлен в статьях [8, 9]. В данном случае рассмотрена только часть этого «дерева» – ветвь, отражающая уровневую иерархию для кирпичных стен здания. Эта ветвь схематично в виде диаграммы проиллюстрирована на рисунке 2. Как видно, ветвь представлена на четырехуровневой иерархической моделью.

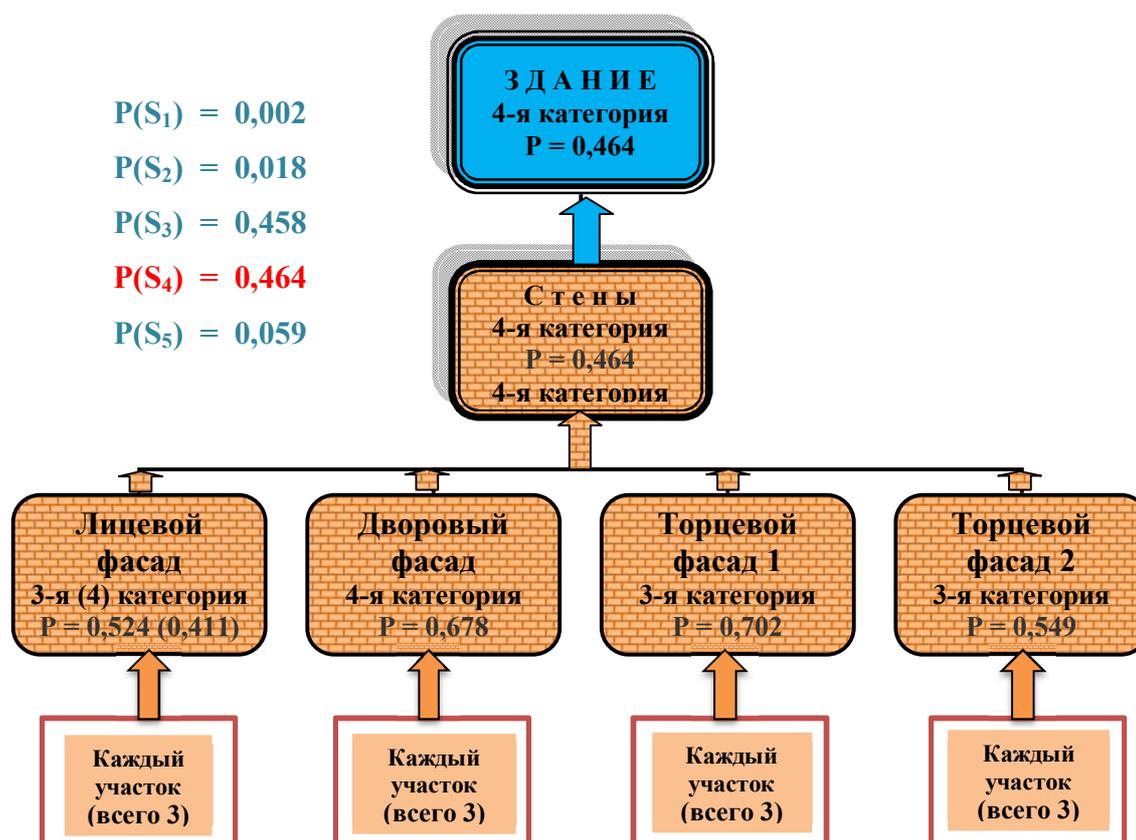


Рисунок 2 – Часть общего «диагностического дерева» здания (ветвь) для подсистемы «стены»

Выводы

Разработана методика диагностирования кирпичных стен здания с использованием статистических методов распознавания состояний технической диагностики, основанных на байесовской процедуре. Для диагностирования состояний стен здания построена графическая модель, как часть (ветвь) общего «диагностического дерева» здания в целом. Ветвь представлена четырехуровневой иерархической структурой (рис. 2). Для прохождения по уровням этой структуры предложен алгоритм, основанный на методах теории информации. Для этого сформулировано понятие «информационный вклад (или доля)» на основе использования методов теории информации с применением понятия информационной энтропии.

Приведен пример диагностирования состояний стен здания, по результатам которого подсистему «стены здания» можно отнести к четвертой категории технического состояния с вероятностью $P_4(U_1)/K^* = 0,464$. Следует отметить, что этот результат можно применить и к зданию в целом, если, допустим, требуется оценить его состояние только по состоянию стен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. Свод правил по проектированию и строительству. [Текст] / М: Госстрой России. ГУЛ ЦПП, 2003. – 28 с.
2. Биргер, И.А. Техническая диагностика [Текст] / И.А. Биргер. – М.: изд. «Машиностроение», 1978. – 240 с.
3. Соколов, В.А. О пороговом значении при определении вероятностей состояний строительных конструкций / В.А. Соколов // Вестник гражданских инженеров. – СПбГАСУ. – 2013. – №4. – С. 67-73.
4. Файнштейн, А. Основы теории информации [Текст] / А. Файнштейн. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. – 240 с.
5. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетики [Текст] / К. Шеннон. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. – 504 с.
6. Соколов, В.А. Вероятностный анализ технического состояния (ВАТС) элементов строительных систем / В.А. Соколов // Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций. Сборник трудов XIV научно-методической конференции. – СПб, ВИТУ, 2010. – С. 41-49.
7. Соколов, В.А. Оценка технического состояния элементов строительных систем с использованием вероятностных методов распознавания / В.А. Соколов // Научный электронный журнал «Наука и безопасность». – 2011. – №1.
8. Соколов, В.А. Оценка технического состояния строительных конструкций зданий на основе многоуровневого вероятностного анализа / В.А. Соколов // Инженерно-строительный журнал. – СПбГПУ. – 2011. – №7. – С. 45-51.
9. Соколов, В.А. Определение технического состояния строительных конструкций зданий на основе многоуровневого вероятностного анализа / В.А. Соколов // Научный электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений». – М., 2012.
10. Мусаев, В.К. О достоверности результатов математического моделирования нестационарных волн напряжений в объектах сложной формы [Текст] / В.К. Мусаев // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – №3. – 2014.

В.А. Соколов

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, г. Санкт-Петербург

Кандидат технических наук, профессор

Тел.: +7 (812) 535-16-32

E-mail: sva0808@rambler.ru

V. SOKOLOV

PROBABILISTIC ANALYSIS OF THE TECHNICAL STATE OF THE BRICK WALLS OF THE OLD CITY BUILDING

For purposes of determining accurate picture of the technical condition of the building and its constructive elements of the proposed approach based on probabilistic theoretical apparatus methods of technical diagnostics. The article provides an example of diagnostics of the state of elements of the brick walls of buildings of the old city building on the basis of the level of language tasks. To build a hierarchical scheme used methods of information theory. Based on the level of analysis of the obtained numerical values of the probabilities of inclusion of the brick walls of the building to the established standards of the five categories of technical condition.

Keywords: *technical diagnostics, probabilistic methods of diagnosis, the formula Bayes methods of information theory, entropy, maximum entropy, residual entropy, level formulation of the problem, the hierarchical design of the diagnosis.*

BIBLIOGRAPHY

1. SP 13-102-2003. Pravila obsledovanija nesushhih stroitel'nyh konstrukcij zdanij i sooruzhenij. Svod pravil po proektirovaniju i stroitel'stvu. [Tekst] / M: Gosstroj Rossii. GUL CPP, 2003. – 28 s.

2. Birger, I.A. Tehnicheskaja diagnostika [Tekst] / I.A. Birger. – M.: izd. «Mashinostroenie», 1978. – 240 s.
3. Sokolov, V.A. O porogovom znachenii pri opredelenii verojatnostej sostojanij stroitel'nyh konstrukcij / V.A. Sokolov // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. – SPbGASU. – 2013. – №4. – S. 67-73.
4. Fajntejn, A. Osnovy teorii informacii [Tekst] / A. Fajntejn. – M.: Izd-vo inostrannoj literatury, 1960. – 240 s.
5. Shennon, K. Raboty po teorii informacii i kibernetiki [Tekst] / K. Shennon. – M.: Izd-vo inostrannoj literatury, 1963. – 504 s.
6. Sokolov, V.A. Verojatnostnyj analiz tehničeskogo sostojanija (VATS) jelementov stroitel'nyh sistem / V.A. Sokolov // Defekty zdaniy i sooruzhenij. Usilenie stroitel'nyh konstrukcij. Sbornik trudov XIV nauchno-metodicheskoj konferencii. – SPb, VITU, 2010. – S. 41-49.
7. Sokolov, V.A. Ocenka tehničeskogo sostojanija jelementov stroitel'nyh sistem s ispol'zovaniem verojatnostnyh metodov raspoznavanija / V.A. Sokolov // Nauchnyj jelektronnyj zhurnal «Nauka i bezopasnost'». – 2011. – №1.
8. Sokolov, V.A. Ocenka tehničeskogo sostojanija stroitel'nyh konstrukcij zdaniy na osnove mnogourovnevnogo verojatnostnogo analiza / V.A. Sokolov // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. – SPbGPU. – 2011. – №7. – S. 45-51.
9. Sokolov, V.A. Opredelenie tehničeskogo sostojanija stroitel'nyh konstrukcij zdaniy na osnove mnogourovnevnogo verojatnostnogo analiza / V.A. Sokolov // Nauchnyj jelektronnyj zhurnal «Predotvrashhenie avarij zdaniy i sooruzhenij». – M., 2012.
10. Musaev, V.K. O dostovernosti rezul'tatov matematičeskogo modelirovanija nestacionarnyh voln naprjazhenij v ob#ektah slozhnoj formy [Tekst] / V.K. Musaev // Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. – №3. – 2014.

V. Sokolov

Saint-Petersburg state polytechnical university, St. Petersburg

Candidate of technical sciences, professor

Ph.: +7 (812) 535-16-32

E-mail: sva0808@rambler.ru

УДК 504.5:656.13: 625.74:625.77

БАКАЕВА Н.В., МАТЮШИН Д.В., НОВИКОВА Т.М.

ОЦЕНКА АКУСТИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЯ БИОСФЕРНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Разработан новый подход к оценке акустического загрязнения от воздействия объектов городского транспортного строительства на основе показателя биосферной совместимости урбанизированной территории. Предложен интегральный критерий оценки экологической безопасности городской среды при воздействии транспортных объектов. Выполнены численные исследования показателя биосферной совместимости на примере элементов улично-дорожной сети г. Орла.

Ключевые слова: экологическая безопасность, биосферная совместимость, объекты городского транспортного строительства, акустическое загрязнение, придорожная территория, интегральная оценка.

Проблемы экологической безопасности городской среды неразрывно связаны с жизнедеятельностью человека и обусловлены ее загрязнением вредными выбросами и негативным физическим воздействием. Деградация окружающей город природной среды влияет на качество жизни населения, на темпы развития экономики, но прежде всего она сказывается на состоянии здоровья человека. По данным Всемирной организации здравоохранения от 40 до 50% заболеваний человека в современных условиях могут быть связаны с изменением состояния биосферы. По данным Росстата [1], около 1,2 млн. жителей нашей страны проживают на территории острого экологического напряжения (седьмой ранг экологического риска). В 138-и городах Российской Федерации, что составляет 57% городского населения, уровень загрязнения атмосферного воздуха характеризуется как высокий и очень высокий. Более половины населения городов России испытывают сверхнормативное шумовое воздействие, складывающееся, в основном, из транспортного шума, а также шума промышленных предприятий и коммунально-бытового характера.

Превалирующее значение в формировании экологической обстановки в российских городах оказывают объекты транспортного строительства (ОТС) и автотранспортной системы. Так, например, каждый год автомобильным транспортом в России выбрасывается более 12,6 млн. т вредных канцерогенных веществ. Также транспортный комплекс является основным источником повышенного шума и вносит значительный вклад в тепловое загрязнение городской среды [2]. Кроме того, проблема безопасного взаимодействия транспорта, человека и природы связывает воедино многие градостроительные, социальные, архитектурно-строительные и другие аспекты жизнедеятельности современного города.

Обеспечение экологической безопасности объектов городской среды связано, в первую очередь, с выбором концепции ее реализации. В этой связи и с целью совершенствования социально-экономических механизмов обеспечения экологической безопасности современных городов и самоподдерживающегося развития урбанизированных территорий Российской академией архитектуры и строительных наук была предложена новая мировоззренческая парадигма биосферной совместимости поселений, которая позволит не только удовлетворять современным экологическим требованиям, но и обеспечит прогрессивное гармоничное развитие человека в структуре города как неотъемлемой части природы.

В рамках новой парадигмы биосферной совместимости городов и поселений могут быть количественно определены показатели состояния биотехносферы региона, являющиеся

функцией причинно-следственных связей между изъятием природных ресурсов, вбрасыванием отходов в окружающую среду и ухудшением здоровья населения городов, их возможной деградацией ввиду снижения качества жизни [3]. Эти показатели являются элементами *тройственного баланса биотехносферы* [4].

Предложенная РААСН методика [5] количественной оценки обобщенного параметра биосферосовместимости (η), характеризующего степень загрязненности городской среды в сопоставлении с ассимиляционным потенциалом биосферы, и интегрального показателя реализации функций города (ξ), характеризующего территориальную, временную и персональную доступность функций города через конкретные их составляющие, были апробированы на примерах генплана г. Орла, объектов его производственной и транспортной инфраструктуры [6]. Результаты нашли отражение в исследованиях В.А. Ильичева, В.И. Колчунова, И.В. Шишкиной, А.Л. Позднякова, Е.А. Скобелевой и др. [5-8].

В работе [6] коэффициент биосферной совместимости урбанизированной территории выступает в качестве интегрального показателя, учитывающего балансовые соотношения между фактическими параметрами биосферы и техносферы, обусловленной воздействиями автотранспортной составляющей, значение которого можно представить в виде:

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

где B_{ik} – количественный интегральный индикатор состояния биосферы при воздействии на нее k -х элементов автотранспортной инфраструктуры в виде некоторого относительного показателя, стандартизованного в виде числовых значений от нуля (минимальное) до единицы (максимальное); Z_{ik} – количественное значение объема i -х загрязняющих веществ (ЗВ), образующихся от воздействия k -х элементов автотранспортной инфраструктуры с максимальными концентрациями, допускающими развитие (МКДР) урбанизированных территорий. Представляется в виде интегрального показателя – индекса, стандартизованного в виде числовых значений от нуля (минимальное) до единицы (максимальное).

Расчетная зависимость (1) будет справедлива, если при сопоставлении показателей состояния биосферы и объема загрязняющих веществ заведомо выполняется условие: $B_{ik} > Z_{ik}$. В этом случае можно говорить о воздействии на биосферу техногенных источников, не превышающих допустимых значений, установленных действующими нормативными требованиями. Если имеет место неравенство $B_{ik} \leq Z_{ik}$, то уровень воздействия на окружающую среду является опасным и нуждается в каких-либо ограничениях. Более того, сложившуюся экологическую ситуацию можно признать катастрофической.

Тогда, для объектов городского транспортного строительства показатель биосферной совместимости урбанизированной территории, как интегральный показатель состояния, например, придорожной территории, тоже можно считать относительной величиной, и его значение может быть стандартизовано в интервале $0 \leq \eta \leq 1$. При приближении значения показателя биосферной совместимости к единице предполагаем, что обеспечивается экологически безопасное состояние территории, находящейся в зоне влияния автомобильной дороги, и имеет место ее прогрессивное развитие, а в случае приближения к нулю – имеет место регрессивное развитие, т.е. неспособность нейтрализовывать вредные воздействия и загрязнения природной среды, формируемые объектами городского транспортного строительства.

Кроме загрязнения различными поллютантами территория, находящаяся в зоне влияния ОТС, подвергается и шумовому воздействию. Именно автотранспорт вносит наибольший вклад (до 70..80%) в шумовое загрязнение в городах. В мегаполисах и крупных городах уровень шума регистрируется в пределах от 65 до 80 дБА, а иногда достигает 90 дБА и более, что является не только дискомфортным, но и опасным для здоровья воздействием.

Многочисленные эксперименты, научные исследования и практика показывают, что в результате шумового воздействия, неблагоприятно влияющего на органы слуха, человек теряет большее количество энергии, повышается агрессивность, развивается гипертония, сокращает продолжительность его жизни.

В настоящее время оценкой неблагоприятного влияния автотранспортной системы на акустическую среду и состояние здоровья людей занимаются российские научные школы Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета, Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, Московского государственного строительного университета, Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета, Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии, Сибирского федерального университета, Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета и других научных организаций. Ими разработаны различные методики оценки воздействия автотранспортных потоков на акустическую среду городской территории. Эти разработки учитывают параметры улично-дорожной сети, жилой и промышленной застройки, озеленения, дорожного покрытия и других факторов, влияющих на распространение и затухание звуковых волн в пространстве.

Тем не менее, в большинстве научных и практических работ оценка шумового загрязнения урбанизированной территории производится только по отдельным параметрам. Даже если учитываются величины многих факторов, то выводы все равно базируются только на сравнении величин отдельных показателей. В итоге невозможно интегрально оценить и сделать верные выводы о текущем состоянии экологической безопасности территории, находящейся в зоне влияния объектов городского транспортного строительства. С этих позиций необходимо получение интегральной оценки факторов негативного воздействия на атмосферу города и акустическую среду, которую позволяет производить новая концепция.

Рассмотрим такую задачу, решение которой построено на новой концептуальной основе. С этой целью для оценки шумового воздействия объектов городского транспортного строительства предлагаем использовать коэффициент биосферной совместимости урбанизированной территории, как интегральный показатель состояния биотехносферы территории.

Значение показателя биосферной совместимости η_N территории, находящейся в зоне акустического дискомфорта, можно представить в виде:

$$\eta_N = \left[\prod_j \left(\frac{L_j^H}{3_j - B_j} \right) \right] \cdot \chi_j \cdot K_{эз} \cdot K_{кд}, \quad (2)$$

где 3_j – количественное значение шумовых характеристик транспортного потока, образующихся от воздействия объектов городского транспортного строительства, в т.ч. автодорог; B_j – количественное значение состояния биосферы при воздействии на объектов городского транспортного строительства, характеризующее величину снижения уровня шума за счет шумозащитных мероприятий; L_j^H – нормативное значение шумовых характеристик в зависимости от зоны территории, находящейся в зоне влияния объекта городского транспортного строительства; χ_j – коэффициент, зависящий от наличия нескольких источников шумового загрязнения в радиусе влияния объектов городского транспортного строительства; $K_{эз}$ – коэффициент экологической значимости территории, находящейся в зоне влияния ОТС; $K_{кд}$ – коэффициент значимости объектов городского транспортного строительства, зависящий от категории автомобильной дороги и характеристик транспортного потока.

Шумовыми характеристиками для транспортных потоков на улицах и дорогах являются эквивалентный L_{Aeq} и максимальный L_{Amax} уровни звука. Для определения уровня транспортного шума могут быть использованы как значения, полученные на основе натурных наблюдений и экспериментальных данных, так и значения, определенные по формулам:

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \lg N_a + 13,3 \cdot \lg V + 8,4 \cdot \lg S_{ra} + 9,5, \quad (3)$$

$$L_{Amax} = L_{Amax(V=50)} + 32 \cdot \lg \left(\frac{V}{50} \right), \quad (4)$$

где L_{Aeq} – расчетное значение эквивалентного уровня транспортного шума на расстоянии 7,5 м от оси крайней полосы движения на высоте 1,5 м от уровня проезжей части, дБА; N_a – интен-

сивность движения автотранспортных средств, авт/ч; V – скорость движения, км/ч; S_{ra} – доля грузового и общественного транспорта в составе транспортного потока, %; L_{Amax} – расчетное значение максимального уровня звука, дБА; $L_{Amax(V=50)}$ – максимальный уровень звука, соответствующий скорости движения 50 км/час, дБА. Значение максимального уровня звука следует принимать в соответствии с ГОСТ Р 41.51-2004 для потока легковых автомобилей – 74 дБА, при наличии в потоке грузовых автомобилей и/или автобусов – 80 дБА.

Значение состояния биосферы, характеризующее величину снижения уровня шума за счет шумозащитных мероприятий, можно определить по формуле:

$$B_j = \Delta L_{Aрас} + \Delta L_{Aзел} + \Delta L_{Aэкp}, \quad (5)$$

где $\Delta L_{Aрас}$ – снижение уровня звука над поверхностью земли за счет расстояния от источника шума до расчетной точки, дБА; $\Delta L_{Aзел}$ – снижение уровня звука полосами зеленых насаждений, дБА; $\Delta L_{Aэкp}$ – снижение уровня звука экранирующими шум сооружениями, дБА.

В реальных условиях застройки целесообразно использовать эмпирическую зависимость, полученную на основе статистической обработки большого количества результатов натурных исследований по распространению шума на примагистральных территориях с типичными покрытиями. Она учитывает зависимость снижения эквивалентного уровня звука при свободном распространении звуковой энергии, влияние поверхности примагистральной территории и поглощение звука в воздухе. Снижение эквивалентного уровня звука транспортного потока на расстояниях 7,5..500 м под влиянием этих факторов учитывается в СНиП 23-03-2003 и определяется по следующей формуле:

$$\Delta L_{Appa} = 14 \lg \frac{S}{7,5}, \quad (6)$$

где S – расстояние от источника шума до расчетной точки, расположенной на примагистральной территории или перед фасадами зданий, представляющими так называемый первый эшелон застройки, подверженный наиболее значительному акустическому воздействию, м.

На распространение звуковых волн в приземном пространстве определенное влияние оказывают зеленые насаждения. Кроме биологической ценности, которая заключается в оздоровлении окружающей человека атмосферы и почвы, зеленые насаждения являются также, в определенной степени, глушителями звука.

Роль растительности типа травы в затухании звука заключается лишь в изменении структуры верхнего слоя почвы, повышении степени ее пористости. Зеленые насаждения в виде деревьев и кустарников наряду с изменением структуры почвы (ведущим к изменению ее импеданса) служат своеобразными рассеивателями и поглотителями звуковой энергии.

Величина снижения шума зелеными насаждениями зависит от характера посадок, породы деревьев и кустарников, времени года и т.д. Полосы, состоящие из нескольких рядов деревьев с разрывами между ними, интенсивнее снижают шум, чем сплошные насаждения с сомкнутыми кронами.

Для определения шумозащитной способности древесно-кустарниковых полос насаждений используется формула Ф.И. Майстера:

$$\Delta L_{Aззе} = 20 \lg \frac{d + \sum_{i=1}^z B_m + \sum_{i=1}^z A_m}{d} + 1,5 z + \beta \sum_{i=1}^z B_m, \quad (7)$$

где d – расстояние от источника шума до первой полосы насаждений, м; $\sum_{i=1}^z B_m$ – суммарная

ширина шумозащитных полос, м; $\sum_{i=1}^z A_m$ – суммарное расстояние между полосами насаждений, включая расстояние от последней полосы до точки измерения шума, м; z – количество полос насаждений; β – удельное поглощение звуковой энергии насаждениями в зависимости от вида деревьев и посадок, дБА/м.

В составе шумозащитных мероприятий акустический экран можно рассматривать как естественный или искусственный барьер на пути распространения звуковых волн между источником и пространством, защищаемым от негативного воздействия шума.

Экранами могут служить придорожные подпорные, ограждающие и специальные защитные стенки, а также искусственные и естественные элементы рельефа местности: земляные валы, насыпи, холмы, откосы выемок, оврагов и т.д. Акустическими экранами могут также служить и здания, в помещениях которых нормами допускаются уровни шума более 40..50 дБА (здания предприятий бытового обслуживания населения, торговли, общественного питания и т.д.), жилые общественные здания с усиленной звукоизоляцией наружных ограждающих конструкций, а также жилые здания, в которых со стороны источников шума расположены окна подсобных помещений, лестничные клетки и т.п. (так называемые шумозащитные здания).

Действительное снижение уровня звука за экранирующими шум сооружениями $\Delta L_{Aэкp}$, расположенными на пути распространения шума от линейного источника, в расчетной точке следует определять по формуле:

$$\Delta L_{Aэкp} = \Delta L_{Aэкp \alpha} + A, \quad (8)$$

где $\Delta L_{Aэкp \alpha}$ – меньшая из величин $\Delta L_{Aэкp \alpha 1}$ и $\Delta L_{Aэкp \alpha 2}$, определяемых по таблице, дБА; A – поправка, определяемая по таблице в зависимости от разных величин $\Delta L_{Aэкp \alpha 1}$ и $\Delta L_{Aэкp \alpha 2}$, дБА.

В связи с тем, что транспортные магистрали проходят в непосредственной близости от жилой застройки, можно говорить о том, что наибольшему негативному шумовому влиянию подвергаются жители первого эшелона застройки. Именно они попадают в зону акустического дискомфорта – участки территории (вместе с застройкой) вокруг источников внешнего шума, в пределах которых уровни звука превышают допустимые величины по санитарно-гигиеническим показателям.

Акустический режим на рассматриваемой территории оценивается на основе сравнения ожидаемых расчетных уровней звука с допустимыми значениями нормируемых показателей. Другими словами, проведенная оценка воздействия автомобильного транспорта на акустическую среду позволит констатировать соответствие полученных шумовых характеристик нормативным санитарно-гигиеническим показателям L_j^H .

В настоящее время согласно действующему нормативному законодательству мониторинг акустического воздействия следует проводить на территориях, непосредственно прилегающих: к жилым домам, объектам здравоохранения и отдыха, учебным заведениям, гостиницам и общежитиям, а также на площадках отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов и других вышеперечисленных объектов.

Нами были выполнены численные исследования показателя биосферной совместимости объектов городского транспортного строительства применительно к улично-дорожной сети г. Орла, основывающиеся на оценке ингредиентного загрязнения атмосферного воздуха [9]. Орел является крупным узлом автомобильного транспорта и имеет развитую улично-дорожную сеть (УДС). УДС города характеризуется четырьмя классами существующих магистральных улиц в виде объездной автодороги, главных общегородских магистралей, городских магистральных улиц и магистральных улиц районного значения. В характеристике УДС города наблюдается сложность структуры при общем количестве ее элементов более 550 (включая шоссе, улицы, переулки, площади). Плотность магистральной УДС в пределах жилой застройки составляет 1,9 км на км², средняя ширина улиц – составляет 28 м, а ширина проезжих частей колеблется от 7 до 18 м. Площадь, занимаемая улицами и дорогами составляет 584 га или занимает 20% от размеров урбанизированной территории. Общая протяженность улично-дорожной сети – около 130 км.

В ходе экспериментальных исследований УДС и движущего по ее элементам транспортного потока стояла задача определения следующих параметров:

N_{AT} – часовой интенсивности потока автотранспортных средств на перегоне, авт./ч;

$Q_{г.авт}$, $Q_г$, $Q_{авт}$ – доли в потоке грузовых автомобилей и автобусов, только грузовых автомобилей, только автобусов соответственно, %;

V – скоростного режима движения транспортного потока, км/ч;

l – ширины проезжей части, м;

s – длины перегона, м;

α – величины продольного уклона, %;

P – пропускной способности участка УДС, авт./ч.

Измерения проводились на элементах УДС (дорогах магистрального значения и улицах местного значения) в течение светового времени суток. Были выявлены часы пик, когда интенсивность движения автотранспортных средств и их воздействие на природную среду являются максимальными: 8⁰⁰-10⁰⁰ ч утра и 17⁰⁰-19⁰⁰ ч вечера в будние дни. Замеры осуществлялись в январе, апреле, июне, июле, сентябре, октябре, декабре календарного года, охватывая, таким образом, теплый и холодный периоды года. Была сформирована выборка из перегонов на 16 улицах города, пересекающих его в различных направлениях селитебной территории.

По стандартной методике были проведены замеры уровня шума на различных участках УДС города, в том числе и на вновь построенных магистралях, оборудованных шумозащитными экранами [10].

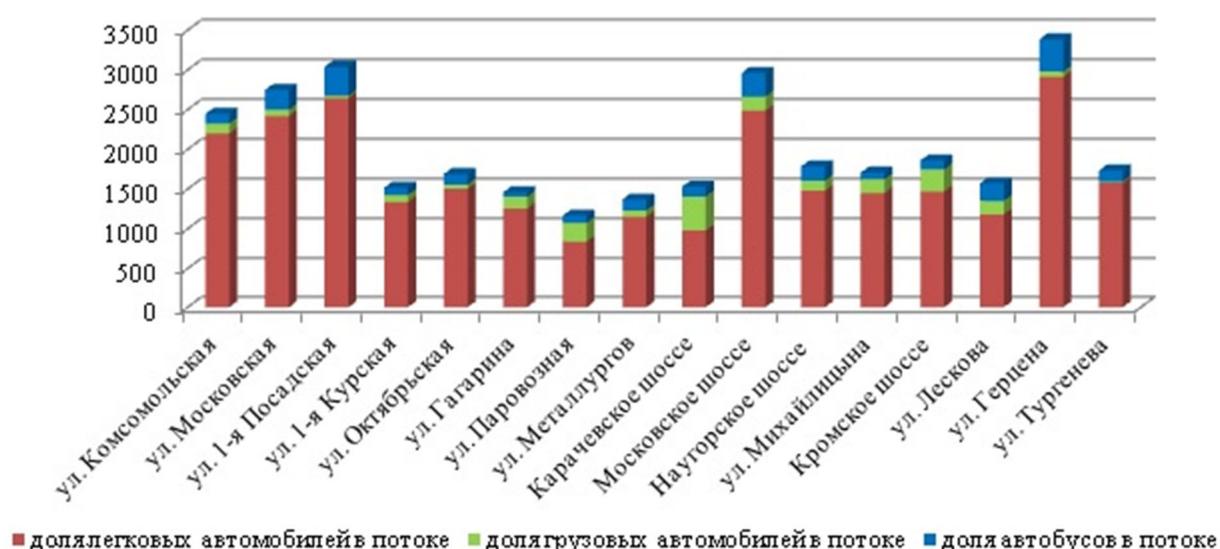


Рисунок 1 – Часовая интенсивность транспортного потока, авт./ч

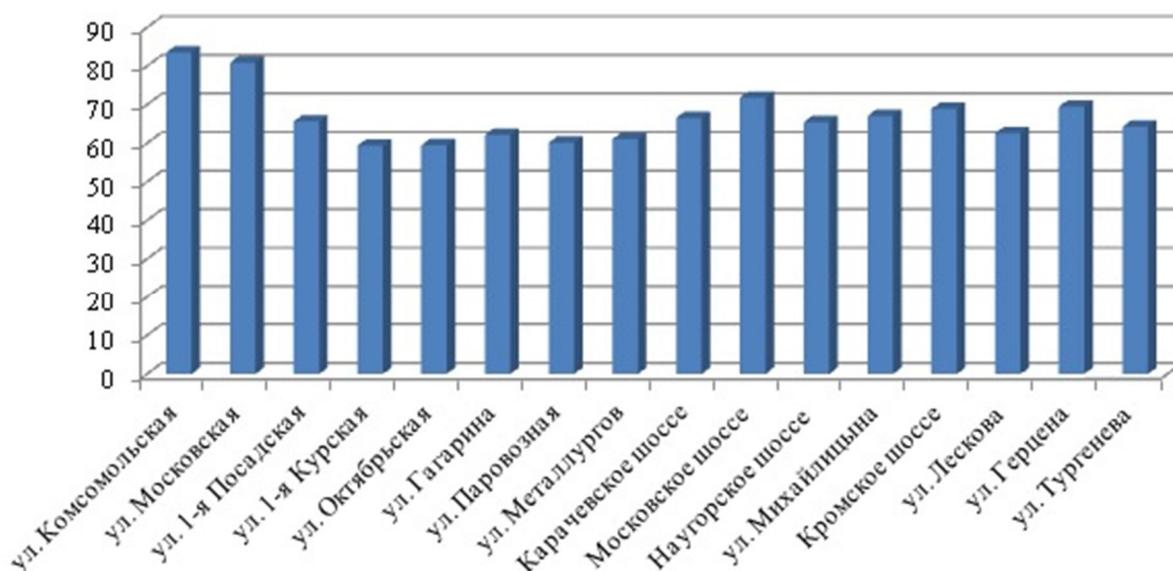


Рисунок 2 – Эквивалентный уровень шума, дБА

На основе полученных экспериментальных данных был выполнен расчет показателя биосферной совместимости объектов городского транспортного строительства применительно к улично-дорожной сети г. Орла, результаты которого приведены на рисунке 3.

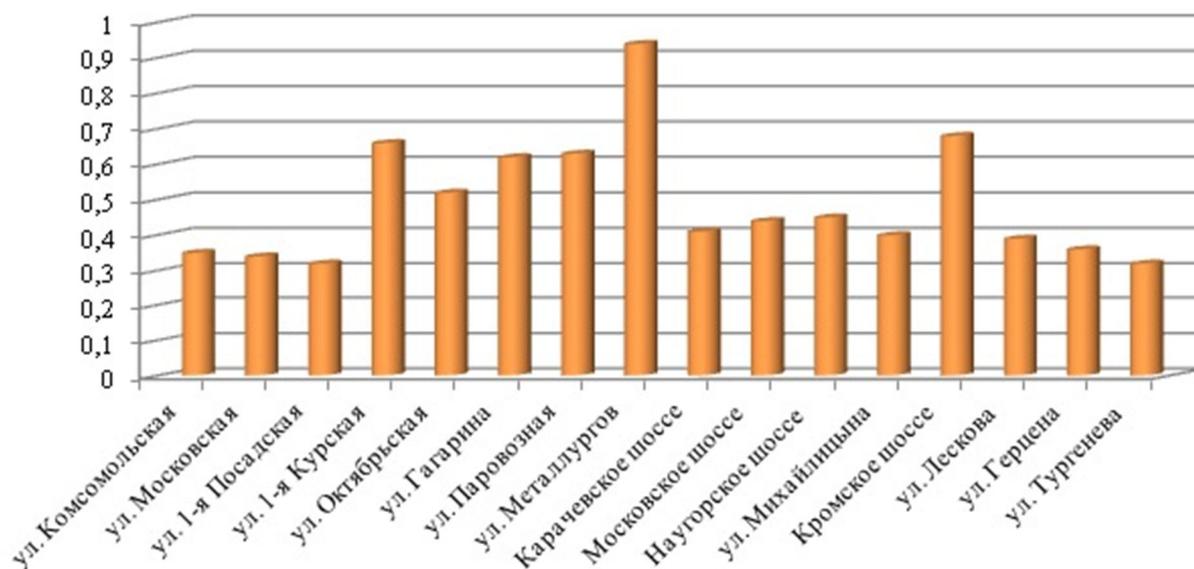


Рисунок 3 – Численные значения показателя биосферной совместимости

Для подробной иллюстрации примера расчета показателя биосферной совместимости урбанизированной территории был выбран перегон по ул. Октябрьской от ул. Красноармейской до ул. 60 лет Октября. Длина перегона $s = 391 \text{ м}$, площадь земельного участка $F_{\text{уч}} = 2,15 \text{ га}$, площадь озеленения $F_{\text{оз}} = 1,08 \text{ га}$. В ходе экспериментальных исследований были определены следующие параметры транспортного потока: часовая интенсивность движения автотранспортных средств на перегоне $N_{AT} = 1776 \text{ авт./ч}$, доля в потоке грузовых автомобилей и автобусов $Q_{\text{г.авт}} = 11\%$, в т.ч только грузовых автомобилей $Q_{\text{г}} = 3\%$, только автобусов $Q_{\text{авт}} = 8\%$.

Определяем количественное значение шумовых характеристик транспортного потока, образующихся от воздействия объектов городского транспортного строительства. По результатам натурных замеров эквивалентный уровень шума на территории, находящейся в зоне влияния данного перегона, составил 59,5 дБА. По формуле (4) находим максимальный уровень звука:

$$L_{A_{\text{max}}} = 80 + 32 \cdot \lg\left(\frac{40}{50}\right) = 76,9 \text{ дБА.}$$

Расстояние от источника шума до расчетной точки, расположенной перед фасадами зданий, подверженных наиболее значительному акустическому воздействию на данном перегоне составляет 25 м, то снижение эквивалентного уровня звука при свободном распространении звуковой энергии, влиянии поверхности примыкательной территории и поглощении звука в воздухе определяем по формуле (6):

$$\Delta L_{A_{\text{рас}}} = 14 \lg \frac{25}{7,5} = 7,3 \text{ дБА.}$$

На данном перегоне озеленение территории, находящейся в зоне влияния дороги, осуществлялось за счет однорядной посадки деревьев при шахматном расположении внутри полосы. Величина снижения шума зелеными насаждениями по формуле (7) составит:

$$\Delta L_{A_{\text{зел}}} = 20 \lg \frac{15 + 2 + 8}{15} + 1,5 \cdot 1 + 0,08 \cdot 2 = 6 \text{ дБА.}$$

На данном участке отсутствуют как естественные, так и искусственные экраны на пути распространения звуковых волн между источником и жилыми домами. Действительное снижение уровня звука за экранирующими шум сооружениями $\Delta L_{\text{Экр}} = 0$.

Значение состояния биосферы, характеризующее величину снижения уровня шума за счет шумозащитных мероприятий будет равно:

$$B_j = \Delta L_{\text{Арас}} + \Delta L_{\text{Азел}} + \Delta L_{\text{Аэкр}} = 7,3 + 6 = 13,3 \text{ дБА.}$$

В настоящее время согласно действующему нормативному законодательству на территориях, непосредственно прилегающих к жилым домам, допустимый эквивалентный уровень звука с 7^{00} до 23^{00} составляет 55 дБА, а допустимый максимальный уровень звука – 70 дБА.

Находим численное значение показателя биосферной совместимости урбанизированной территории по ул. Октябрьской от ул. Красноармейской до ул. 60 лет Октября:

$$\eta_N = \frac{55}{59,5 - 13,3} \cdot \frac{70}{76,9 - 13,3} \cdot 1,0 \cdot 0,4 \cdot 1,0 = 0,52.$$

Если анализировать численное значение этого показателя для обследуемого перегона, то его можно охарактеризовать как удовлетворительное с точки зрения нормируемого акустического воздействия. Данное значение обусловлено наличием в транспортном потоке грузового транспорта и автобусов, невысокой скоростью движения транспорта при удалении от источника шума первого эшелона застройки жилыми зданиями на 25 метров и удовлетворительном уровне озеленения в соответствии с нормативным.

В целом, для исследуемых элементов УДС г. Орла значения показателя биосферной совместимости для всех обследованных перегонов лежат в диапазоне от 0,32 до 0,94. Такой широкий диапазон значений вызван значительной разницей в интенсивности и составе транспортного потока по центральным магистральным улицам и менее значимым второстепенным улицам. В виду сложившейся исторической застройки в центральной части города не было предусмотрено достаточного расстояния от полосы движения дороги до первых эшелонных строений, которое может быть использовано с целью достижения требуемого современными нормами уровня озеленения, что вызывает незначительное, а в некоторых случаях и полное отсутствие снижения шумового воздействия как зелеными насаждениями, так и за счет поглощения звука в воздухе из-за увеличения расстояния на таких перегонах.

Таким образом, предложенные расчетные зависимости показателя биосферной совместимости придорожных территорий позволяют выполнить анализ акустического влияния конкретного объекта городского транспортного строительства на формирование экологической ситуации с позиции рассматриваемой концепции. Применение показателя биосферной совместимости в качестве критерия при оценке экологической безопасности городской среды позволит перейти от покомпонентной оценки к интегральной, учитывающей возможность сбалансированных количественных соотношений ее составляющих. Такой подход даст возможность обеспечить уровень экологической безопасности объектов городской среды в соответствии с целевым значением, обусловленным рациональным использованием ресурсов, находящихся в общественной собственности (атмосферный воздух, вода, почва), и установлением баланса между элементами техносферы и потенциалом биосферы. Результатом установления такого баланса для поселения будет сохранение или восстановление биосферы и развитие человека как составной ее части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральная служба государственной статистики. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 10.01.2015).
2. Хегай, Ю. А. Проблемы экологической обстановки на автомобильном транспорте в Российской Федерации [Текст] / Ю. А. Хегай // Теория и практика общественного развития, 2014. – №2. – С. 385-388.
3. Ильичев, В.А. Биосферная совместимость – принцип, позволяющий построить парадигму жизни в гармонии с планетой Земля [Текст] / В.А. Ильичев // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии – Курск, 2014. – №1. – С. 4-6.
4. Ильичев, В.А. Расчет гуманитарных балансов Биотехносферы [Текст] / В.А. Ильичев, И.А. Малмыгин // Градостроительство, 2011. – №4. – С. 38-44.

5. Ильичев, В.А. Некоторые вопросы проектирования поселений с позиции концепции биосферной совместимости [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, А.В. Берсенева, А.Л. Поздняков // Научно-технический журнал Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – №1. – С. 50-57.

6. Бакаева, Н.В. Методика расчета обобщенных критериев оценки состояния территориальной автотранспортной системы на основе концепции биосферосовместимых технологий [Текст] / Н.В. Бакаева, И.В. Шишкина // Научно-технический журнал Academia. Архитектура и строительство. – 2011. – №4. – С. 114-119.

7. Бакаева, Н.В. Построение системы оценочных показателей и расчет показателя биосферной совместимости территориальной автотранспортной системы [Текст] / Н.В. Бакаева, И.В. Шишкина // Вестник Московского государственного строительного университета (МГСУ), 2011. – №3. – Т. 1. – С. 434-443.

8. Колчунов, В.И. Предложения к оценке параметров рекреационных зон биосферосовместимых жилых микрорайонов города [Текст] / В.И. Колчунов, Е.А. Скобелева, М.В. Борисов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – Курск: ЮЗГУ, 2014. – №4. – С. 91-99.

9. Матюшин, Д.В. Результаты мониторинга экологической безопасности автотранспортной системы города (на примере г. Орла) [Текст] / Д.В. Матюшин // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2013. – №2. – С. 47-154.

10. Бакаева, Н.В. Оценка акустического загрязнения городской среды (на примере г. Орла) [Текст] / Н.В. Бакаева, Д.В. Данилевич, И.В. Шишкина // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2014. – №4. – С. 78-85.

Н.В. Бакаева

ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск
Доктор технических наук, профессор кафедры «Экспертиза и управление недвижимостью»
E-mail: natbak@mail.ru

Д.В. Матюшин

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Стажер-исследователь НОЦ «Математическое моделирование состояний и процессов городской среды»
E-mail: matydenis@yandex.ru

Т.М. Новикова

ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск
Кандидат географических наук, доцент кафедры «Экспертиза и управление недвижимостью»
E-mail: abe-tatyana@yandex.ru

N. BAKAEVA, D. MATYUSHIN, T. NOVIKOVA

**THE EVALUATION OF THE ACOUSTIC POLLUTION
OF THE URBAN ENVIRONMENT BASED ON
THE BIOSPHERE COMPATIBILITY INDEX**

A new approach to the assessment of acoustic pollution from the impact of objects urban transport construction based on an indicator of biosphere compatibility of urbanized areas is developed. The integral assessment criterion of ecological safety of urban environment from impact of transport objects on environment is offered. Numerical investigations of indicator of biosphere compatibility are implemented on case of the road network's element of Orel.

Keywords: *environmental safety, biosphere compatibility, objects of urban transport construction, roadside territory, integral evaluation.*

BIBLIOGRAPHY

1. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki. URL: <http://www.gks.ru/> (data obrashhenija: 10.01.2015).
2. Hegaj, Ju. A. Problemy jekologicheskoj obstanovki na avtomobil'nom transporte v Rossijskoj Federacii [Текст] / Ju. A. Hegaj // Teorija i praktika obshhestvennogo razvitija, 2014. – №2. – С. 385-388.
3. Il'ichev, V.A. Biosfernaja sovместimost' – princip, pozvoljajushhij postroit' paradigmatu zhizni v garmonii s planetoj Zemlja [Текст] / V.A. Il'ichev // Biosfernaja sovместimost': chelovek, region, tehnologii – Курск, 2014. – №1. – С. 4-6.
4. Il'ichev, V.A. Raschet gumanitarnyh balansov Biotehnosfery [Текст] / V.A. Il'ichev, I.A. Malmygin // Gradostroitel'stvo, 2011. – №4. – С. 38-44.

5. Il'ichev, V.A. Nekotorye voprosy proektirovanija poselenij s pozicii koncepcii biosfernoj sovmestimosti [Tekst] / V.A. Il'ichev, V.I. Kolchunov, A.V. Bersenev, A.L. Pozdnjakov // Nauchno-tehnicheskij zhurnal Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. – 2009. – №1. – S. 50-57.

6. Bakaeva, N.V. Metodika rascheta obobshhennyh kriteriev ocenki sostojanija territorial'noj avtotransportnoj sistemy na osnove koncepcii biosferosovmestimyh tehnologij [Tekst] / N.V. Bakaeva, I.V. Shishkina // Nauchno-tehnicheskij zhurnal Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. – 2011. – №4. – S. 114-119.

7. Bakaeva, N.V. Postroenie sistemy ocenочnyh pokazatelej i raschet pokazatelja biosfernoj sovmestimosti territorial'noj avtotransportnoj sistemy [Tekst] / N.V. Bakaeva, I.V. Shishkina // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta (MGSU), 2011. – №3. – T. 1. – S. 434-443.

8. Kolchunov, V.I. Predlozhenija k ocenke parametrov rekreacionnyh zon biosferosovmestimyh zhilyh mikrorajonov goroda [Tekst] / V.I. Kolchunov, E.A. Skobeleva, M.V. Borisov // Biosfernaja sovmestimost': chelovek, region, tehnologii. – Kursk: JuZGU, 2014. – №4. – S. 91-99.

9. Matjushin, D.V. Rezul'taty monitoringa jekologicheskoy bezopasnosti avtotransportnoj sistemy goroda (na primere g. Orla) [Tekst] / D.V. Matjushin // Biosfernaja sovmestimost': chelovek, region, tehnologii. – 2013. – №2. – S. 47-154.

10. Bakaeva, N.V. Ocenka akusticheskogo zagriznenija gorodskoj sredy (na primere g. Orla) [Tekst] / N.V. Bakaeva, D.V. Danilevich, I.V. Shishkina // Biosfernaja sovmestimost': chelovek, region, tehnologii. – 2014. – №4. – S. 78-85.

N. Bakaeva

South-west state university, Kursk

Doctor of technical sciences, professor of the department «Examination and management of real estate»

E-mail: natbak@mail.ru

D. Matyushin

State university – educational-science-production complex, Orel

Intern of the science-educational center «Mathematical modeling of states and processes of the urban environment»

E-mail: matydenis@yandex.ru

T. Novikova

South-west state university, Kursk

Candidate of geographical sciences, associate professor of the department «Examination and management of real estate»

E-mail: abe-tatyana@yandex.ru

КОРНЕВА Е.В.

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ ОБОСНОВАНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ИСТОРИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

В статье исследуются основные градостроительные факторы, которые используются в методах обоснования реконструкции исторических комплексов в черте города. С помощью данных методов можно определить наиболее «привлекательный», с точки зрения реконструкции, исторический объект. Приспособление исторических комплексов к современным условиям градостроительной среды способствует ее устойчивому развитию и рациональному использованию территориальных ресурсов.

Ключевые слова: реконструкция, исторический комплекс, градостроительная среда, градостроительные факторы.

При обосновании целесообразности и профессиональном планировании проведения реконструкции исторических объектов в условиях современного города следует учитывать наиболее существенные градостроительные факторы [5]. При этом, также, необходимо стремиться, чтоб реализованный проект реконструкции способствовал устойчивому развитию градостроительной системы. Градостроительные факторы обоснования реконструкции исторических комплексов представлены на рисунке 1:



Рисунок 1 – Градостроительные факторы обоснования реконструкции исторических комплексов

1. Оценка градостроительной ситуации, характеристика земельного участка и географического ландшафта (К1).

Основой для проведения анализа градостроительного расположения исторического комплекса служить генплан города, который разрабатывается после разработки проекта районного планирования территорий. Планировочную структуру исторического города образуют следующие районы: исторический центр, старый город, озелененные территории (рекреационные зоны), прилегающие к центру территории, периферийные территории, производственно-промышленные районы, район железнодорожного вокзала, аэропорта. При определении данного фактора разрабатывается градостроительное обоснование и оценивается необходимость внесения изменений в генеральный план города. Проводится сбор информации о характеристиках расположения участка реконструкции в существующей планировочной структуре города; размеров и площади участка; нормативных разрывов до окружающей застройки; актов на право постоянного пользования землей, а также владельцев на прилегающей территории; направлений использования, предусмотренных генеральным планом развития города; характеристики зеленых насаждений и других элементов благоустройства; рельеф участка (спокойный, равнинный, значение уклона и перепада высот по участку) отсутствие или наличие не-

благоприятных геологически-оползневых и гидрогеологических воздействий на данный земельный участок. Также изучаются требования к инженерной подготовке территории, мероприятия по ее инженерной защите (планирование рельефа), планировочных ограничений, распространяющихся на земельный участок, а именно: зоны охраны памятников культурного наследия, археологических территорий, исторического ареала населенного пункта; границы красных линий улиц – предоставленные на топографической съемке; санитарно-защитная зона объектов транспорта (автовокзалы) относительно жилой застройки; санитарно-защитные зоны от объектов, которые являются источниками выделения вредных веществ, запахов, повышенных уровней шума, вибрации, ультразвуковых и электромагнитных волн, электронных полей, ионизирующих излучений; зоны санитарной охраны от подземных и открытых источников водоснабжения, водозаборных и водоочистных сооружений, водоводов, объектов оздоровительного назначения и т.д. Коэффициент благоприятности градостроительной ситуации при реконструкции исторического комплекса определяется как сумма вышеперечисленных факторов и с использованием таблицы 1:

$$KI = \sum_{i=1}^n \alpha n. \quad (1)$$

Таблица 1

Фактор, что учитывает благоприятность градостроительной ситуации	Оценка, αn количество баллов	
Размещение исторического комплекса в существующей планировочной структуре города	Исторический центр, старый город	1,0
	Территории, что примыкают к центральным, рекреационные (озелененные) территории, периферия	0,5
	производственно-промышленные районы, районы ж/д вокзалов, аэропортов	0
Направление использования, предусмотрено генерального плана развития города	удовлетворительный	1,0
	неудовлетворительный	0
Термин пользования землей	постоянный	1,0
	долгосрочный	0,5
	краткосрочный	0
Термин пользования историческим объектом	постоянный	1,0
	долгосрочный	0,5
	краткосрочный	0
Состояние элементов благоустройства	Удовлетворительное	1,0
	Неудовлетворительное	0
Рельеф участка	Равнинный (спокойный)	1,0
	холмистый	0,5
	Горный, с существенными высотными перепадами	0
Геологические и гидрологические условия	благоприятные	1,0
	удовлетворительные	0,5
	неблагоприятные	0
Инженерная подготовка территории	Необходима, но отсутствует	0
	Предусмотрена; находится в удовлетворительном состоянии	0,5
	Не нужна	1,0
Планировочные ограничения	отсутствуют	1,0
	незначительные	0,5
	Существуют, в большом количестве	0

Анализ градостроительной ситуации, характеристики земельного участка и географического ландшафта необходим для оценки соответствия современным требованиям исторического комплекса, что подлежит реконструкции; определение будущего туристического, коммерческого, культурно-образовательного и рекреационного потенциала исторического объекта; оценки масштабов и капиталовложений в реконструкцию исторического комплекса, а также будущей прибыли инвестора.

2. Экологичный состояние градостроительной среды (K2).

Безусловно, важным фактором при обосновании реконструкции исторических комплексов является благоприятная экологическая среда. Чем лучше экологическое положение в городе, где будет проходить реконструкция, тем больше вероятность привлечения инвестиций и

дальнейшего развития данных территорий при инвестиционной деятельности. Сегодня загрязнять окружающую среду и чрезмерно потреблять природные ресурсы становится экономически невыгодным. Также при обосновании реконструкции исторического комплекса можно провести экологическое прогнозирование, чтобы подтвердить рентабельность дальнейшего развития в данном направлении (реконструкции). Экологическое прогнозирование – это научное предвидение возможного развития экосистем, обусловленное как природными, так и антропогенными процессами и влиянием [2]. Оно основывается на оценке современной экологической ситуации и существующих тенденций, уровня и характера загрязнений окружающей среды на основе перспектив социально-экономического развития территории. Чтобы рассчитать фактор обоснования реконструкции исторического комплекса, который учитывает экологическую ситуацию среды, (K2) необходимо определить состояние воздуха и атмосферы (Индекс загрязнения атмосферы – ИЗА) – комплексный показатель, который равен сумме нормированных по ПДК и приведен к концентрации диоксида серы средних составляющих загрязняющих веществ. Для одного вещества:

$$ИЗА = \left(\frac{C}{ГДК_{сс}} \right)^k, \tag{2}$$

где C – средняя за год концентрация, $мг/м^3$; $ГДК_{сс}$ – среднесуточная ПДК, $мг/м^3$, в случае отсутствия вместо нее принимается $ГДК_{мр}$ или $ОБУВ$ ($ГДК_{мр}$ – максимальная разовая концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, $мг/м^3$; $ОБУВ$ – ориентировочно безопасные уровни воздействия; $k = 1,7$ (класс опасности 1); $k = 1,3$ (класс опасности 2); $k = 1,0$ (класс опасности 3); $k = 0,9$ (класс опасности 4).

Фактор, который учитывает экологическую ситуацию региона, в котором проводится реконструкция исторического комплекса (K2) будет равен:

$$K2 = \frac{1}{ИЗА}. \tag{3}$$

3. Состояние и развитость инженерно-транспортной инфраструктуры (K3).

Коэффициент, учитывающий состояние и развитость инженерно-транспортной инфраструктуры (K3) определяется как сумма значений βn (количество баллов согласно табл. 2).

$$K3 = \sum_{i=1}^n \beta n, \tag{4}$$

Таблица 2

Составляющая, которая учитывается при оценке инженерно-транспортной инфраструктуры	Оценка, βn Количество баллов		
Состояние проложенных инженерных коммуникаций	водопровод	удовлетворительное 1,0 неудовлетворительное 0	
	канализация	удовлетворительное 1,0 неудовлетворительное 0	
		Электрические сети	удовлетворительное 1,0 неудовлетворительное 0
	соответствие существующих инженерных сетей современным техническим достижениям	удовлетворительное 1,0 Требуют совершенствования 0,5 неудовлетворительное 0	
		Соответствие полученных технических условий, для данного объекта, перспективному уровню потребления	полное 1,0 частичное 0,5 Не соответствуют 0
			Основные транспортные связи исторического комплекса с другими зонами города предусмотрены магистралями общегородского значения и комплексной транспортной схеме города
Существование транспортно-пересадочных узлов	автовокзал (ы) 1,0(n) ж/д вокзал (ы) 1,0 (n) Аэропорт (ы) 1,0 (n)		
	Разновидность доступного общественного транспорта	автобус 1,0 троллейбус 1,0 трамвай 1,0 метро 1,0 моно рейковый 1,0	
		Состояние и развитость сети тротуаров и пешеходных дорожек для организации движения пешеходов.	удовлетворительное 1,0 неудовлетворительное 0

4. Состояние социальной инфраструктуры (K4).

Возможности социальной инфраструктуры в создании необходимых условий зависят от мощности ее экономического потенциала, который определяется ее современным состоянием и динамичностью, имеющимся объемам резервов и ресурсов. Система расселения непосредственно предопределяет территориальную организацию социальной инфраструктуры, или локализуется в поселениях, где происходит жизнедеятельность людей. Одно из главных требований к социальной инфраструктуре как территориальной подсистеме – абсолютная комплексность, т.е. необходимость одновременного согласованного развития всех звеньев. Каждый объект социальной инфраструктуры образует в пространстве собственную зону притяжения (территорию действия) – ограниченную (преимущественно учреждения здравоохранения, образования, жилищно-коммунального хозяйства) или ориентировочную, произвольное (большинство учреждений бытового обслуживания населения, торговли и общественного питания).

Границы зоны притяжения объектов зависят от специфики функционирования предприятий, учреждений и сооружений, особенностей региональной системы расселения, развития дорожной сети и транспорта. В обобщенном виде критерием оптимальности размещения социальной инфраструктуры является прежде территориальная доступность объектов. Учитывая все выше сказанное, коэффициент, учитывающий состояние и развитость социальной инфраструктуры K_4^M можно определять как сумму значений β_n (количеству баллов согласно табл. 3).

$$K_4 = \sum_{i=1}^n \gamma_n. \tag{5}$$

Таблица 3

Составляющая, что учитывается при оценке социальной инфраструктуры		Оценка, γ_n Кол-во баллов	
Социально-бытовая сфера	Согласования с эксплуатирующей организацией (жилищно-коммунальное хозяйство) на обслуживание	Проведено	1,0
		Не проведено	0
	заведения торговли	Возможна организация в зоне исторического комплекса и существуют на прилегающих территориях	1,0
		Функционируют на прилегающих территориях (без возможности организации в зоне исторического комплекса)	0,5
		отсутствуют	0
	Заведения общественного питания	Возможна организация в зоне исторического комплекса и существуют на прилегающих территориях	1,0
		Функционируют на прилегающих территориях (без возможности организации в зоне исторического комплекса)	0,5
		Отсутствуют	0
Уровень обеспеченности связью	достаточный	1,0	
	требует совершенствования	0	
Социально-культурная сфера	Существование действующих рекреационных объектов	присутствуют	1,0
		отсутствуют	0
	Существование действующих учреждений культуры, искусства и рациональность сотрудничества с ними	Присутствуют (функциональное родство с историческим комплексом)	1,0
		Имеются, но сотрудничество не рациональное	0,5
Возможность проведения имиджевых мероприятий в зоне исторического комплекса	отсутствуют	0	
	Кино- и музыкальные фестивали	0,5	
	Выставки	0,5	
	театрализованные представления	0,5	
	фольклорные фестивали	0,5	
Расположение исторического комплекса относительно зоны притяжения (территории действия) объекта социальной инфраструктуры (в случае существования нескольких зон притяжения баллы добавляются в соответствии с количеством зон наложения)	Находится в зоне влияния	1,0	
	Не находится в зоне влияния	0	
Уровень согласованности (совершенство аппарата управления) всех звеньев социальной инфраструктуры	полный	1,0	
	частичный	0,5	
	отсутствует	0	

5. Архитектурно-художественные особенности исторического комплекса (K5).

Анализ архитектурно-художественных признаков исторического комплекса предполагает выявление его типичных и особенных архитектурных и эстетических особенностей, что нужно для формирования у инвестора представления о ценности данного объекта реконструкции, его уникальность и преимущества по сравнению с другими историко-культурного наследия. Методики денежной оценки памятников используют интегральный коэффициент, учитывающий ценность памятника как объекта культурного наследия K5 будет определяется с применением показателей в табл. 4 и рассчитывается по формуле:

$$K5 = 1 + K_{и} + K_{гр} + K_{к} + K_{э} + K_{ин} + K_{у}, \quad (6)$$

где $K_{и}$ – коэффициент, учитывающий историческую ценность; $K_{гр}$ – коэффициент, учитывающий градостроительную ценность; $K_{к}$ – коэффициент, учитывающий уникальность общего композиционного решения; $K_{э}$ – коэффициент, учитывающий выразительность экстерьера; $K_{ин}$ – коэффициент, учитывающий выразительность интерьера; $K_{у}$ – коэффициент, учитывающий утилитарную ценность.

Таблица 4

Вид культурной ценности	Показатели	Коэф-т
Историческая ценность времени создания (K_i):	до XIII ст.	2,1-2,5
	XIII-XVI ст.	1,9-2
	XVII - до середины XVIII ст.	1,7-1,8
	вторая половина XVIII ст.	1,5-1,6
	1800-1820 гг.	1,3-1,4
	1821-1860 гг.	1-1,2
	1861-1900 гг.	0,7-0,9
	1901-1917 гг.	0,5-0,6
	1918-1933 гг.	0,3-0,4
	1934 - до даты оценки	0,1-0,2
Градостроительная ценность ($K_{г}$)	роль местоположения в системе развития или в природной среде:	
	повышение градостроительной ценности местоположения достопримечательности	0,1-0,5
	обогащения среды в связи с наличием достопримечательности (для памятников, расположенных за пределами населенных пунктов)	0,1-0,3
Эстетическая ценность: уникальность общего композиционного решения ($K_{к}$)	принадлежность памятника к творческому наследию определенного автора, место памятника в культуре, раритетность достопримечательности:	
	наличие единичных подобных объектов	0,6-0,8
	наличие незначительного количества подобных объектов	0,3-0,5
	наличие значительного количества подобных объектов	0,1-0,2
Выраженность экстерьера (фасадов) ($K_{э}$)	высокая	0,6-0,7
	средняя	0,4-0,5
	низкая	0,1-0,3
Выраженность интерьера (внутреннего пространства) ($K_{ин}$)	высокая	0,5-0,6
	средняя	0,3-0,4
	низкая	0,1-0,2
утилитарная ценность ($K_{у}$)	целесообразность решения типологических задач и степень оригинальности архитектурно-конструктивного решения:	
	уникальное решение	0,5-0,6
	редкое решение	0,3-0,4
	распространенное (традиционное) решение	0,1-0,2

6. Соответствие исторического комплекса утвержденному функциональному назначению территории (K6).

Исследование данного фактора необходимо, поскольку, находясь в состоянии консервации исторический объект, со временем, перестает соответствовать современному утвер-

жденному функциональному назначению прилегающих территорий, которые продолжали развиваться и изменяться в соответствии с потребностями общества. То есть этот фактор отражает возможность гармоничного взаимодействия исторического комплекса, после реконструкции и уже сложившегося действующего среды. Исследования функционального соответствия исторического комплекса отражает уровень приспособления «нового органа» (исторического объекта после реконструкции) к «организма» (существующего среды). Ситуация, когда функциональное назначение исторического комплекса после реконструкции совпадает с утвержденным функциональным назначением территорий, на которых он расположен, является привлекательный для инвестора, поскольку исчезает необходимость дополнительных согласование в органах местного самоуправления. Расчет соответствия исторического комплекса утвержденному функциональному назначению территории (К6) проводится с использованием таблицы 5.

Таблица 5

№ п/п	Оцениваемый параметр	Характеристика оцениваемого параметра	Значение фактора, К6
1.	Соответствие исторического комплекса утвержденному функциональному зонированию	полная	1,0
		частичная	0,5
		не соответствует	0

Учитывая вышеупомянутые факторы, градостроительное обоснование реконструкции исторического комплекса будет определяться по следующей формуле:

$$O_{гр} = K1+K2+K3+K4+K5+K6. \quad (7).$$

Выводы

При высокой динамике изменений в градостроительной среде и существующим дефицитом территориальных ресурсов, проведение реконструкции исторических комплексов становится необходимостью и требует тщательного исследования всех факторов влияния в современном городе. Помимо экономических, политических и социальных факторов влияния существенную роль также имеет группа градостроительных факторов, с помощью которых и обосновывается целесообразность проведения реконструкции. В основе метода обоснования реконструкции исторических комплексов используется высказывание советского архитектора Гольца Георгия Павловича: «Необходимо изучить с особой тщательностью существующий город, так как строить приходится не на пустом месте, а включаясь в живой организм. Было бы недопустимо предлагать решения, оторванные от реальной ситуации города».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев, С.А. Сохранение локальных исторических комплексов методами градостроительного регулирования [Текст] / С.А. Агеев диссертация, кафедра «Основы теории градостроительства» Московского архитектурного института (Государственной академии), 2005. – 364 с.
2. Щенков, А.С. Современные проблемы консервации, реставрации и воссоздания объектов культурного наследия [Текст] / А.С. Щенков. – М.: Архитектура и строительство. – 2004. – №1. – 24 с.
3. Ройзман, А. Комплексная оценка инвестиционной привлекательности и инвестиционной активности российских регионов: методика определения и анализ взаимосвязей [Текст] / А.Ройзман, И. Гришина, И. Шахназаров. – М.: Инвестиции в России. – 2001. – №4. – 28 с.
4. Ранинский, Ю.В. Памятники архитектуры и градостроительства [Текст] / Ю.В. Ранинский. – М.: Высшая школа, 1988. – 51 с.
5. Беккер, А.Ю. Современная городская среда и архитектурное наследие: эстетический аспект [Текст] / А.Ю. Беккер, А.С. Щенков. – М.: 1984. – 146 с.
6. Градостроительная охрана памятников истории и культуры [Текст]. Сборник научных трудов. – М.: Министерство культуры СССР; Научно-методический совет по охране памятников культуры, 1987. – 60 с.

Е.В. Корнева

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев
Аспирант кафедры «Городское хозяйство»
E-mail: eendgee@gmail.com

E. KORNEVA

URBAN FACTORS JUSTIFY THE RECONSTRUCTION OF OBJECTS

The paper examines the main urban factors, which are used in the methods of reconstruction of historical justification complexes in the city. With these methods it is possible to determine the most "attractive" in terms of reconstruction, historical object. Adaptation of historic complexes to modern conditions of urban planning harvest contributes to its sustainable development and rational use of territorial resources.

Keywords: reconstruction, historical complex, urban environment, urban factors.

BIBLIOGRAPHY

1. Ageev, S.A. Sohranenie lokal'nyh istoricheskikh kompleksov metodami gradostroitel'nogo regulirovanija [Tekst] / S.A. Ageev dissertacija, kafedra «Osnovy teorii gradostroitel'stva» Moskovskogo arhitekturnogo instituta (Gosudarstvennoj akademii), 2005. – 364 s.
2. Shhenkov, A.S. Sovremennye problemy konservacii, restavracii i vossozdanija ob#ektov kul'turnogo nasledija [Tekst] / A.S. Shhenkov. – M.: Arhitektura i stroitel'stvo. – 2004. – №1. – 24 s.
3. Rojzman, A. Kompleksnaja ocenka investicionnoj privlekatel'nosti i investicionnoj aktivnosti rossijskih regionov: metodika opredelenija i analiz vzaimosvjazej [Tekst] / A.Rojzman, I. Grishina, I. Shahnazarov. – M.: Investicii v Rossii. – 2001. – №4. – 28 s.
4. Raninskij, Ju.V. Pamjatniki arhitektury i gradostroitel'stva [Tekst] / Ju.V. Raninskij. – M.: Vysshaja shkola, 1988. – 51 s.
5. Bekker, A.Ju. Sovremennaja gorodskaja sreda i arhitekturnoe nasledie: jesteticheskij aspekt [Tekst] / A.Ju. Bekker, A.S. Shhenkov. – M.: 1984. – 146 s.
6. Gradostroitel'naja ohrana pamjatnikov istorii i kul'tury [Tekst]. Sbornik nauchnih trudov. – M.: Ministerstvo kul'tury SSSR; Nauchno-metodicheskij sovet po ohrane pamjatnikov kul'tury, 1987. – 60 s.

E. Korneva

Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv
Postgraduate student of the department «Municipal economy»
E-mail: eendgee@gmail.com

ПЕРЕСЛАВЦЕВА И.И., ЯРЕМЕНКО С.А.

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКОГО ПОТОКА ПО ОСНОВНЫМ УЧАСТКАМ ЭВАКУАЦИОННЫХ ПУТЕЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Анализ мировых и отечественных статистических данных свидетельствует о несовершенстве применяемых в нашей стране мерах противопожарной защиты. Одной из главных проблем является недостаток существующей методики определения расчетных величин пожарного риска и отсутствие натуральных экспериментальных исследований движения групп людей по различным участкам путей эвакуации. В работе проведены экспериментальные исследования времени движения групп людей по основным участкам путей эвакуации (лестничная клетка и коридор). Произведен расчет времени движения по этим участкам в соответствии с утвержденной методикой определения расчетных величин пожарного риска. Сравнение результатов проведенного эксперимента с расчетными данными подтверждает наличие существенных недостатков в утвержденной методике. Определено значительное влияние поворотов на пути движения на время эвакуации из здания.

Ключевые слова: противопожарная защита, путь эвакуации, пожарный риск, экспериментальное исследование, время движения, лестничная клетка, коридор.

Введение. В настоящее время в России утверждена Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [1], в соответствии с которой основным параметром соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности является величина индивидуального пожарного риска для жильцов, персонала и посетителей в здании. Индивидуальный пожарный риск Q_B отвечает требуемому, если его расчетное значение не превышает нормативного значения $Q_B^H = 10^{-6} \text{ год}^{-1}$. При определении расчетного значения величины индивидуального пожарного риска учитывается ряд параметров, таких как вероятность эффективного срабатывания установок автоматического пожаротушения, вероятность присутствия людей в здании, вероятность эвакуации людей, вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре [2].

Центр пожарной статистики (Center of Fire Statistics of CTIF) [3], который располагает данными о 85 странах и более чем 100 крупнейших городах мира, регулярно определяет рейтинг стран по числу погибших при пожарах в зданиях и на транспорте, согласно которому Россия регулярно занимает в нем первое место.

При этом последние 40-50 лет согласно данным российской статистики почти ежегодно (или, по крайней мере, через каждые 3-4 года) число жертв пожаров «неуклонно снижается». А между тем оно с 3,5-4,0 тыс. чел. в год на 250 млн. чел. населения возросло (даже по официальной статистике) до 15-20 тыс. чел. в год на 140 млн. чел. населения страны, а по «неофициальным» данным до 25-30 тыс. чел. в год [4, 5].

Анализ статистических данных свидетельствуют о недостаточности применяемых в нашей стране методов предупреждения пожара и, в частности, несовершенстве определения параметров пожарного риска в соответствии с методикой [2].

В результате проведенного анализа существующих публикаций [6-9] установлено, что одной из важных проблем является отсутствие натуральных экспериментальных исследований движения групп людей по различным видам участков путей эвакуации. С учетом того, что одним из основных параметров при определении индивидуального пожарного риска является вероятность эвакуации людей, которая зависит от расчетного времени эвакуации, определяемого как сумма времени движения людского потока по отдельным участкам пути,

отсутствие экспериментальных исследований может приводить к значительной погрешности при расчетах. А в случае, когда рассматриваемый объект защиты имеет значительные размеры и/или достаточно сложную планировку, подобная погрешность в расчетах впоследствии может привести к катастрофическим результатам [10].

Таким образом, проведение экспериментальных исследований, направленных на выявление особенностей движения различных по количеству групп людей по отдельным участкам эвакуационных путей, является важной и актуальной задачей.

1. Анализ существующей методики расчета и постановка задачи исследования.

Отметим очевидные на первый взгляд недостатки методики [2].

В соответствии с [2] повороты пути не влияют на параметры движения людского потока. Данное упрощение при расчете на наш взгляд является недопустимым, так как при прохождении поворотов всегда происходит переформирование потока, характеризующееся изменением его плотности [11]. Таким образом, прохождение поворотов должно сопровождаться изменениями скорости движения.

В отношении лестничных клеток методикой [2] принято следующее допущение: этажные и междуэтажные площадки в целях упрощения и облегчения вычислений, учитывая их небольшие размеры и меньшую сложность движения по ним по сравнению с лестничными маршами, допускается отнести к наклонным путям. Это также вызывает ряд вопросов в связи с наличием двух поворотов на лестничной клетке в пределах только одного этажа.

В связи с вышеизложенным нами проведены экспериментальные исследования движения групп людей по следующим участкам пути эвакуации: 1 – прямой коридор, 2 – коридор с поворотом 90° , 3 – лестничная клетка.

Проведение экспериментов сводилось к определению времени движения различного количества людей по вышеуказанным эвакуационным путям.

При проведении эксперимента участки эвакуационных путей имели определенные геометрические характеристики (рис. 1). Прямой коридор и коридор с поворотом имеют одинаковую ширину 1,9 м. Движение людей осуществлялось сначала по прямому коридору длиной 9 м, а затем по двум отрезкам пути по 4,5 м с поворотом на 90° , то есть по коридору с такой же общей длиной, как и на прямом участке.

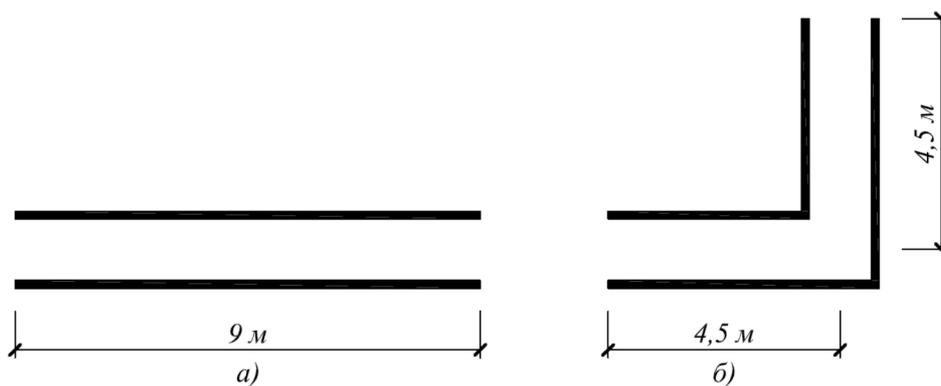


Рисунок 1 – Экспериментальные коридоры:
а – прямой коридор, б – коридор с поворотом на 90°

Время движения по лестничной клетке засекалось при движении по двум лестничным маршам и лестничным площадкам в пределах одного этажа. Так как лестничная клетка не может быть начальным участком пути эвакуации, то движению по лестничной клетке предшествовало движение людей по коридору длиной $l=40$ м и шириной $\delta=5$ м. Дверной проем из коридора на лестницу имеет ширину 1,25 м. Параметры лестничной клетки, задействованной в эксперименте, представлены на рисунке 2.

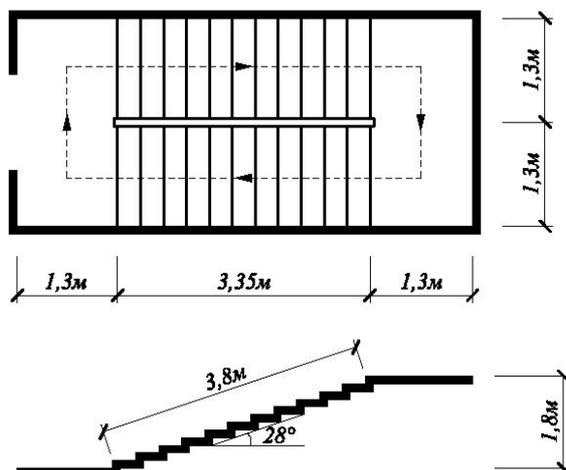


Рисунок 2 – Экспериментальная лестничная клетка

Время движения по коридорам и лестничной клетке засекалось для различных по количеству групп людей – 1, 10 и 20 человек. Для каждой группы засекалось время пяти попыток. Для того чтобы 10 и 20 человек бесконечно не растягивались по пути движения, они были перевязаны плотной резинкой, которая при этом давала им возможность перемещаться внутри потока (рис. 3, 4).



Рисунок 3 – Движение группы людей из 10 человек по прямому коридору



Рисунок 4 – Движение группы людей из 20 человек по коридору с поворотом 90°

2. Сравнение натуральных экспериментальных данных с расчетными при движении по коридорам.

Результаты эксперимента при движении различных групп людей по прямому коридору и по коридору с поворотом 90° представлены в таблице 1 и таблице 2.

Рассчитаем значения времени движения по коридору длиной 9 м в соответствии с [2]. В нашем эксперименте коридор является начальным участком пути, поэтому время движения людского потока по этому участку пути t_1 , мин рассчитывается по формуле:

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1}, \quad (1)$$

где l_1 – длина первого участка пути, м; V_1 – скорость движения людского потока по горизонтальному пути на первом участке, м/мин (определяется по таблице П2.1 [2] в зависимости от плотности D).

Плотность однородного людского потока на первом участке пути D_1 рассчитывают по формуле:

$$D_1 = \frac{N_1 \cdot f}{l_1 \cdot \delta_1}, \quad (2)$$

где N_1 – число людей на первом участке, чел.; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, $\text{м}^2/\text{чел.}$, принимаемая в соответствии с пунктом 6 приложения №5 [2]; δ_1 – ширина первого участка пути, м.

Таблица 1 – Время движения людей по прямому коридору

№ попытки	Время, с	Среднее значение времени, с
Количество человек: 1		
1.	5,0	4,6
2.	4,1	
3.	4,7	
4.	4,6	
5.	4,7	
Количество человек: 10		
1.	6,8	7,1
2.	7,5	
3.	6,8	
4.	7,0	
5.	7,4	
Количество человек: 20		
1.	8,0	7,9
2.	7,7	
3.	7,8	
4.	8,2	
5.	7,6	

Таблица 2 – Время движения людей по коридору с поворотом 90°

№ попытки	Время, с	Среднее значение времени, с
Количество человек: 1		
1.	3,9	4,2
2.	4,3	
3.	4,3	
4.	4,3	
5.	4,2	
Количество человек: 10		
1.	7,7	7,2
2.	6,8	
3.	7,4	
4.	7,3	
5.	6,9	
Количество человек: 20		
1.	8,6	8,6
2.	8,4	
3.	8,7	
4.	9,1	
5.	8,4	

Люди участвовали в эксперименте в летней одежде, поэтому площадь горизонтальной проекции человека $f=0,1 \text{ м}^2/\text{чел.}$

При $N=1$ чел.:

$$D_1 = \frac{1 \cdot 0,1}{9 \cdot 1,9} = 0,006 \text{ м}^2 / \text{м}^2.$$

При $N=10$ чел.:

$$D_1 = \frac{10 \cdot 0,1}{9 \cdot 1,9} = 0,06 \text{ м}^2 / \text{м}^2 .$$

При $N=20$ чел.:

$$D_1 = \frac{20 \cdot 0,1}{9 \cdot 1,9} = 0,12 \text{ м}^2 / \text{м}^2 .$$

Скорость движения людского потока $V_1=100$ м/мин. при $N=1$ чел.; $V_1=96$ м/мин. при $N=10$ чел. При $N=20$ чел.: $V_1=76$ м/мин.

Следовательно, время движения по коридору для различного количества людей составит при $N=1$ чел.:

$$t_1 = \frac{9}{100} = 0,09 \text{ мин.} = 5,4 \text{ с.}$$

При $N=10$ чел.:

$$t_1 = \frac{9}{96} = 0,094 \text{ мин.} = 5,6 \text{ с.}$$

При $N=20$ чел.:

$$t_1 = \frac{9}{76} = 0,118 \text{ мин.} = 7,1 \text{ с.}$$

Графически результаты эксперимента при движении различных групп людей по прямому коридору и по коридору с поворотом 90° , а также результаты расчета в соответствии с методикой [1] представлены на рисунке 5.

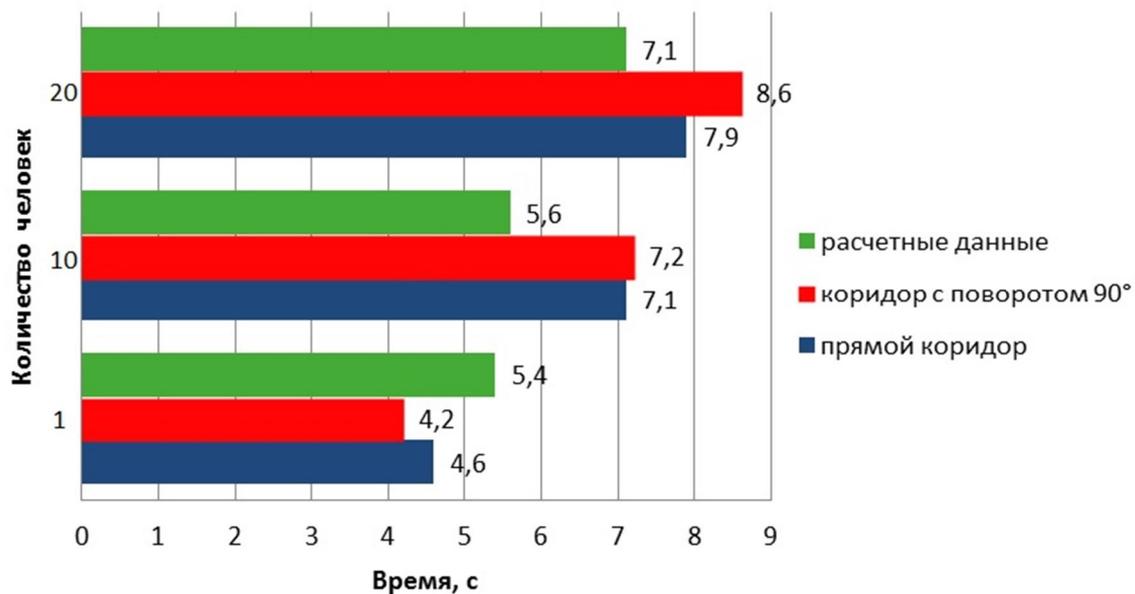


Рисунок 5 – Зависимость времени движения от количества человек в группе

3. Сравнение натуральных экспериментальных данных с расчетными при движении по лестничной клетке.

Результаты движения 1, 10 и 20 человек по лестничной клетке сведены в таблице 3.

Рассчитаем значение времени движения 1, 10 и 20 человек по экспериментальной лестничной клетке по методике [2]. В нашем случае первый участок пути – коридор длиной $l=40$ м и шириной $\delta=5$ м.

При $N=1$ чел.:

$$D_1 = \frac{1 \cdot 0,1}{40 \cdot 5} = 0,0005 \text{ м}^2 / \text{м}^2 .$$

При $N=10$ чел.:

$$D_1 = \frac{10 \cdot 0,1}{40 \cdot 5} = 0,005 \text{ м}^2 / \text{м}^2.$$

При $N=20$ чел.:

$$D_1 = \frac{20 \cdot 0,1}{40 \cdot 5} = 0,01 \text{ м}^2 / \text{м}^2.$$

Таблица 3 – Время движения людей по лестничной клетке

№ попытки	Время, с	Среднее значение времени, с
Количество человек: 1		
1.	7,5	7,8
2.	8,1	
3.	7,2	
4.	9,0	
5.	7,1	
Количество человек: 10		
1.	11,3	10,5
2.	9,7	
3.	11,1	
4.	10,6	
5.	9,8	
Количество человек: 20		
1.	16,2	15,8
2.	15,4	
3.	16,6	
4.	15,1	
5.	15,6	

Соответственно, для полученных значений плотности людского потока при всех значениях N скорость движения по горизонтальному участку $V_1=100$ м/мин.

Время движения при этом будет $t_1=40/100=0,4$ мин. для всех значений N .

Скорость V движения людского потока на участках пути, следующих после первого, принимаются по таблице П2.1 [2] в зависимости от интенсивности движения людского потока по каждому из этих участков пути, которую вычисляют для каждого участка, в том числе и для дверных проемов, по формуле:

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (3)$$

где δ_i, δ_{i-1} – ширина рассматриваемого i -го и предшествующего ему участка пути, м; q_i, q_{i-1} – интенсивность движения людского потока по рассматриваемому i -му и предшествующему участку пути, м/мин.

Для всех значений N на первом участке интенсивность движения $q_1=1$ м/мин.

Рассчитаем интенсивности движения людского потока для 2-го участка – дверного проема шириной 1,25 м.

$$q_2 = \frac{1 \cdot 5}{1,25} = 4 \text{ м/мин.}$$

Следовательно, интенсивность движения людского потока по лестничной клетке будет равна:

$$q_3 = \frac{4 \cdot 1,25}{1,3} = 3,8 \text{ м/мин.}$$

Так как значение $q_3 < q_{max}$, ($q_{max}=16$ для лестниц вниз), то время движения по участку пути t_3 , мин, рассчитывается по формуле (1).

Скорость движения по лестничной клетке $V_3=100$ м/мин при $q_3=3,8$ м/мин.

На данном этапе время движения по лестничной клетке для всех значений N зависит только от длины пути по этому участку.

Определим значения длины пути по лестничной клетке в соответствии с [2], как сумму двух реальных длин наклонного пути с учетом длины пути по площадкам, $l_3 = 2 \cdot 3,8 + (1,3 + 2,6 + 1,3) = 12,8$ м, тогда:

$$t_3 = \frac{12,8}{100} = 0,128 \text{ мин} = 7,7 \text{ с}.$$

Выводы

В результате проведенных исследований и вычислений установлено:

- Повороты на пути движения влияют на общее время эвакуации людей из здания. При сопоставлении экспериментальных исследований движения групп людей определено значительное увеличение времени движения 20 человек при наличии поворота 90° по сравнению с прямым коридором, что свидетельствует о задержке на пути движения из-за неизбежного переформирования потока. Один человек проходит участок при наличии поворота быстрее, чем по прямой, так как имеет возможность сократить свой путь, срезая угол на пути движения. А 10 человек движутся с сопоставимыми скоростями при заданной ширине коридора.

- Недопустимо при определении длины пути для упрощения расчетов междуэтажные площадки относить к наклонным путям. Экспериментальные данные показывают прямую зависимость времени движения по лестничной клетке от количества эвакуируемых людей, а при расчетном методе при заданных параметрах предшествующего лестничной клетке участка, обеспечивающих малую интенсивность движения по нему, время эвакуации не зависит от количества людей в группе, что явно не соответствует действительности. В тоже время это подтверждает утверждение о влиянии поворотов на пути движения по лестничной клетке на общее время эвакуации.

- Существующая расчетная методика имеет существенные недостатки. Так полученные расчетные значения при движении по коридору 20 человек сопоставимы с экспериментальными значениями лишь для 10 человек, а для лестничных клеток расчетные значения, которые одинаковы для различного количества людей в группе, вообще сопоставимы только с экспериментальным временем движения 1 человека.

Таким образом, проведенные исследования показывают актуальность затронутой темы и безусловную необходимость дальнейших исследований, направленных на выявление закономерностей времени эвакуации от количества людей в потоке и различных параметров отдельных участков эвакуационного пути.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ: принят Гос. Думой 4 июля 2008 г.: одобр. Сов. Федерации 11 июля 2008 г. [Текст] // Российская газета. – 2008. – №163.
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: приказ МЧС РФ от 30.06.2009 г. №382; введ. 30.06.2009 г. [Текст] // Российская газета. – 2009. – №161.
3. Brushlinsky, N.N. World Fire Statistics. CTIF / N.N. Brushlinsky, J.R. Hall, S.V. Sokolov, P. Wagner // Center of fire statistics. – 2012. – №17. – 64 p.
4. Ботнаръ, М.И. Анализ пожарной безопасности объектов строительства в Российской Федерации [Текст] / М.И. Ботнаръ, А.В. Дерепасов, И.И. Переславцева, Д.Г. Титков, С.А. Яременко // Научное обозрение. – 2013. – №9. – С. 426-430.
5. Абдурагимов, И.М. Еще раз о принципиальной невозможности выполнения расчетов пожарных рисков детерминированными методами [Текст] // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – №6. – С. 13-22.
6. Холщевников, В. В. Моделирование и анализ движения людских потоков в зданиях различного назначения [Текст] / В.В. Холщевников, С.А. Никонов, Р.Н. Шамгунов. – М.: Мир, 1996. – 217 с.

7. Переславцева, И.И. Прогнозирование разрушений аммиакопроводов при возникновении чрезвычайных ситуаций [Текст] / И.И. Переславцева, В.Д. Касенков, Д.Ю. Попков, Е.А. Павлова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – №3. – С. 78-86.

8. Самошин, Д.А. Расчет времени эвакуации людей. Проблемы и перспективы [Текст] / Д.А. Самошин // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – №1. – С. 33-46.

9. Косачев, А.А. К вопросу о расчете пожарного риска [Текст] / А.А. Косачев, А.Я. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2009. – №6. – С. 53-56.

10. Переславцева, И.И. Экспериментальные исследования времени эвакуации групп людей по лестничным клеткам зданий и сооружений [Текст] / И.И. Переславцева, С.А. Яременко // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – №5 (40). – С. 122-126.

11. Полосин, И.И. Моделирование распространения звуковых колебаний в воздуховодах с различными геометрическими характеристиками / И.И. Полосин, С.А. Яременко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2008. – №2. – С. 114-120.

И.И. Переславцева

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, г. Воронеж

Старший преподаватель кафедры «Пожарная и промышленная автоматика»

Тел.: +7 903 654 27 75

E-mail: u00105@vgasu.vrn.ru

С.А. Яременко

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, г. Воронеж

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Отопление и вентиляция»

Тел.: +7 920 464 23 99

E-mail: jaremenko83@mail.ru

I. PERESLAVTSEVA, S. JAREMENKO

A SURVEY OF OCCUPANT LOAD FOR EGRESS CAPACITY

Analysis of global and domestic statistics shows the limitations applied in our country fire protection measures. One of the main problems is the shortcomings of the existing methods for determining the calculated values of fire risk and the lack of full-scale experimental studies of the movement of groups of people in different parts of the escape routes. In this paper, experimental studies of travel time groups of people on the main areas of evacuation routes (staircase and corridor). The calculation of travel time on these sites in accordance with the approved procedure for determining the values of fire risk. Comparison of the results of the experiment with the calculated data confirms the existence of significant deficiencies in the approved methodology. Defined a significant impact on the way of turning on the evacuation of the building.

Keywords: fire protection, means of escape, fire risk, experimental study, travel time, stairwell, hallway.

BIBLIOGRAPHY

1. Tehnicheskij reglament o trebovanijah požarnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 22 ijulja 2008 g. №123-FZ: prinjat Gos. Dumoj 4 ijulja 2008 g.: odobr. Sov. Federacii 11 ijulja 2008 g. [Tekst] // Rossijskaja gazeta. – 2008. – №163.

2. Metodika opredelenija raschetnyh velichin požarnogo riska v zdaniyah, sooruzhenijah i stroenijah razlichnyh klassov funkcional'noj požarnoj opasnosti: prikaz MChS RF ot 30.06.2009 g. №382; vved. 30.06.2009 g. [Tekst] // Rossijskaja gazeta. – 2009. – №161.

3. Brushlinsky, N.N. World Fire Statistics. CTIF / N.N. Brushlinsky, J.R. Hall, S.V. Sokolov, P. Wagner // Center of fire statistics. – 2012. – №17. – 64 p.

4. Botnar', M.I. Analiz požarnoj bezopasnosti ob#ektov stroitel'stva v Rossijskoj Federacii [Tekst] / M.I. Botnar', A.V. Derepasov, I.I. Pereslavceva, D.G. Titkov, S.A. Jaremenko // Nauchnoe obozrenie. – 2013. – №9. – S. 426-430.

5. Abduragimov, I.M. Eshhe raz o principial'noj nevozmozhnosti vypolnenija raschetov požarnyh riskov determinirovannyimi metodami [Tekst] // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2013. – №6. – S. 13-22.

6. Holshhevnikov, V. V. Modelirovanie i analiz dvizhenija ljudskih potokov v zdaniyah razlichnogo naznachenija [Tekst] / V.V. Holshhevnikov, S.A. Nikonov, R.N. Shamgunov. – M.: Mir, 1996. – 217 s.
7. Pereslavceva, I.I. Prognozirovanie razrushenij ammiakoprovodov pri voznikovenii chrezvychajnyh situacij [Tekst] / I.I. Pereslavceva, V.D. Kasenkov, D.Ju. Popkov, E.A. Pavlova // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2012. – №3. – S. 78-86.
8. Samoshin, D.A. Raschet vremeni jevakuacii ljudej. Problemy i perspektivy [Tekst] / D.A. Samoshin // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2004. – №1. – S. 33-46.
9. Kosachev, A.A. K voprosu o raschete pozharnogo riska [Tekst] / A.A. Kosachev, A.Ja. Korol'chenko // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2009. – №6. – S. 53-56.
10. Pereslavceva, I.I. Jeksperimental'nye issledovanija vremeni jevakuacii grupp ljudej po lestnichnym kletkam zdaniy i sooruzhenij [Tekst] / I.I. Pereslavceva, S.A. Jaremenko // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. – 2013. – №5 (40). – S. 122-126.
11. Polosin, I.I. Modelirovanie rasprostraneniya zvukovyh kolebanij v vozduhovodah s razlichnymi geometricheskimi harakteristikami / I.I. Polosin, S.A. Jaremenko // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2008. – №2. – S. 114-120.

I. Pereslavl'tseva

Voronezh state university of architecture and civil engineering, Voronezh
Senior lecturer of the department «Fire and industrial automation»
Ph.: +7 903 654 27 75
E-mail: u00105@vgasu.vrn.ru

S. Jaremenko

Voronezh state university of architecture and civil engineering, Voronezh
Candidate of technical sciences, assistant professor of of the department «Heating and ventilation»
Ph.: +7 920 464 23 99
E-mail: jaremenko83@mail.ru

СЕМЕНОВ В.Н.

ПЕРСПЕКТИВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИЕЙ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ГОРОДСКОГО ОКРУГА ГОРОД ВОРОНЕЖ НА ПЕРИОД ДО 2029 ГОДА

В статье рассматриваются перспективы жилищного строительства в городе Воронеже на длительный период и обеспечение тепловой энергией объектов жилищного строительства тепловой энергией.

***Ключевые слова:** жилищное строительство, тепловая энергия, теплоснабжение, генеральный план, схема теплоснабжения, варианты развития, жилищный фонд, многоквартирные дома, теплопотребление.*

Прогноз перспективного потребления тепловой энергии на цели теплоснабжения потребителей городского округа город Воронеж был сформирован нами в процессе разработки проекта схемы теплоснабжения городского округа город Воронеж на период до 2029 года в соответствии с муниципальным контрактом №1 от 29.05.2013 г., заключенный между Воронежским ГАСУ и администрацией городского округа город Воронеж.

Расчет перспективного потребления тепловой энергии на цели теплоснабжения осуществлялся на основе Генерального плана городского округа город Воронеж, утвержденного решением Воронежской городской думой №422-II от 19.12.2008.

В составе Генерального плана выделены следующие временные сроки его реализации:

- расчетный срок Генерального плана, на который рассчитаны все основные проектные решения Генерального плана, 2020 год;
- перспектива – период, следующий за расчетным сроком Генерального плана, на который определяются основные направления стратегии градостроительного развития городского округа город Воронеж, 2030 год.

Были учтены утвержденные и перспективные проекты планировок территорий городского округа город Воронеж, предоставленные Управлением главного архитектора администрации городского округа город Воронеж.

Согласно Генеральному плану развитие жилых зон предусматривается за счёт освоения под жилищно-гражданское строительство свободных от застройки территорий, реконструкции ветхой, аварийной и модернизации типовой морально устаревшей жилой застройки.

Ввиду отсутствия детальных проектов планировок в период после 2015 года, расчет производился для планируемых к застройке кварталов согласно генплану с разделением на вид застройки: многоэтажное; 5-6-7-этажное высокоплотное; 3-4-5-этажное высокоплотное; коттеджное.

Учитывался оптимистический сценарий развития градостроительства в городском округе город Воронеж.

При разработке схемы теплоснабжения принимаются три этапа планирования по времени: первый этап – 2013 – 2018 гг. (по каждому году); второй этап – 2019-2023 гг.; третий этап – 2024-2028 гг.

Первый этап 2013-2018 гг. является среднесрочным, прогноз в данном временном диапазоне можно считать достоверным. Последующие этапы 2019-2023 гг. и 2024-2028 гг. являются долгосрочными, прогнозы в данном интервале имеют низкий доверительный интервал, и подлежат обязательной корректировке с учетом необходимых изменений в нормативах по градостроительной деятельности и прогнозах социально-экономического развития городского округа город Воронеж.

Рассматривается два основных наиболее вероятных варианта развития системы теплоснабжения городского округа город Воронеж. Согласно первому инерционному варианту

необходимо построить одну ТЭЦ, перспективные кварталы подключаются к существующим источникам энергии (при установлении в электронной модели такой возможности), при невозможности подключения к существующим мощностям и (или) экономической нецелесообразности такого подключения, предполагается строительство котельных по принципу один перспективный квартал – один источник тепла.

Согласно второму инновационному варианту необходимо построить одну ТЭЦ, перспективные кварталы подключаются к существующим источникам энергии (при установлении в электронной модели такой возможности), при невозможности подключения к существующим мощностям и (или) экономической нецелесообразности такого подключения, предполагается строительство котельных, с учетом возможности строительства одного источника на несколько перспективных кварталов (при незначительной удаленности кварталов, с учетом возможности размещения источников и соблюдения всех санитарных норм).

В итоге, согласно первому варианту надо построить одну ТЭЦ и 49 котельных в перспективных кварталах, по второму варианту одну ТЭЦ и 37 котельных.

Наиболее оптимальным является второй вариант развития схемы теплоснабжения городского округа г. Воронеж, принятый в качестве основного, с более централизованной системой подключения потребителей, минимальной стоимостью и меньшим потенциалом роста тарифов. Оба варианта детально проработаны в обосновывающих материалах к схеме теплоснабжения г. Воронеж до 2029 года.

За последние 10 лет в городском округе г. Воронеж наблюдается устойчивая тенденция увеличения ввода в действие многоквартирных домов, в среднем ежегодный рост составляет 7,44%.

В 2012 году населением построено за счёт собственных и заёмных средств 119,4 тыс. кв. м жилья (индивидуальные дома), что на 0,67 процента ниже уровня 2011 года. Населением за счёт собственных и заёмных средств, введено 16,5% от ввода жилья по городу.

Общая площадь многоквартирных жилых домов (604,6 тыс. кв. м, или 85,8% к общему итогу ввода жилья) намного превосходила объем введенного жилья, построенного населением (119,4 тыс. кв. м или 14,2% к общему итогу ввода жилья).

В городском округе город Воронеж темпы строительства в целом опережают планируемые. Для перспективного строительства на период действия разрабатываемой схемы теплоснабжения 2013-2028 гг., наиболее вероятен оптимистичный сценарий развития градостроительной деятельности.

Согласно генеральному плану городского округа город Воронеж строительства новых производственных мощностей не планируется. Намечен вывод производственных предприятий за территорию города. В настоящее время действует проект по переносу производственных мощностей в Масловскую промзону (индустриальный парк «Масловский»). Перенос мощностей осуществляют ООО «Воронежсельмаш», планируется реализовывать проекты ООО «УСК «Спецстальсмонтаж» (завод по производству металлоконструкций), ООО «Союзкомплект» (завод по производству мелкосортного проката), ООО «Воронежсельмаш» (проект по переносу производственных мощностей из Воронежа). Осуществляется проект переноса мыловаренного завода «Финист» из центра Воронежа в пригородный Хохольский район.

Перспектива строительства по расчетным элементам территориального деления на период 2013-2028 гг. представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Перспектива строительства в городском округе город Воронеж по этапам, тыс. м²

Район	Этап, год.								
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019-2023	2024-2028	Итого за 2013-2028
Центральный	115,5	115,5	115,5	115,5	115,5	115,5	693,96	771,6	2158,56
Ленинский	48,64	48,64	48,64	48,64	48,64	48,64	284,78	312,5	889,12
Советский	142,56	142,56	142,56	142,56	142,56	142,56	1712,16	2378,4	4945,92
Коминтерновский	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	1665,19	2480,75	4676,16
Железнодорожный	124,41	124,41	124,41	124,41	124,41	124,41	556,32	512,5	1815,28
Левобережный	250,52	250,52	250,52	250,52	250,52	250,52	1927,09	2376,75	5806,96
Всего	770	770	770	770	770	770	6839,5	8832,5	20292

В таблице 2 представлен прогноз приростов площади строительных фондов.

Таблица 2 – Прогнозы приростов площади строительных фондов по расчетным элементам территориального деления, тыс. м²

Район	Этап, год.							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2023	2028
Центральный	115,5	231	346,5	462	577,5	693	1386,96	2158,56
Ленинский	48,64	97,28	145,92	194,56	243,2	291,84	576,62	889,12
Советский	142,56	285,12	427,68	570,24	712,8	855,36	2567,52	4945,92
Коминтерновский	88,37	176,74	265,11	353,48	441,85	530,22	2195,41	4676,16
Железнодорожный	124,41	248,82	373,23	497,64	622,05	746,46	1302,78	1815,28
Левобережный	250,52	501,04	751,56	1002,1	1252,6	1503,1	3430,21	5806,96
Всего	770	1540	2310	3080	3850	4620	11459,5	20292

Согласно данным таблиц 1 и 2, за период 2013-2020 гг. планируется построить 4620 тыс.м² общей площади жилищного фонда, за период 2019-2023 гг. – 6839,5 тыс.м², за период 2024-2028 гг. – 8832,5 тыс.м². Наиболее интенсивное развитие строительства планируется в Левобережном, Советском и Коминтерновском районе. За период 2013-2028 гг. прирост площади строительных фондов составит 20 292 тыс.м².

На рисунке 1 представлены проектные и фактические данные по общей площади жилых помещений, приходящихся в среднем на одного жителя.

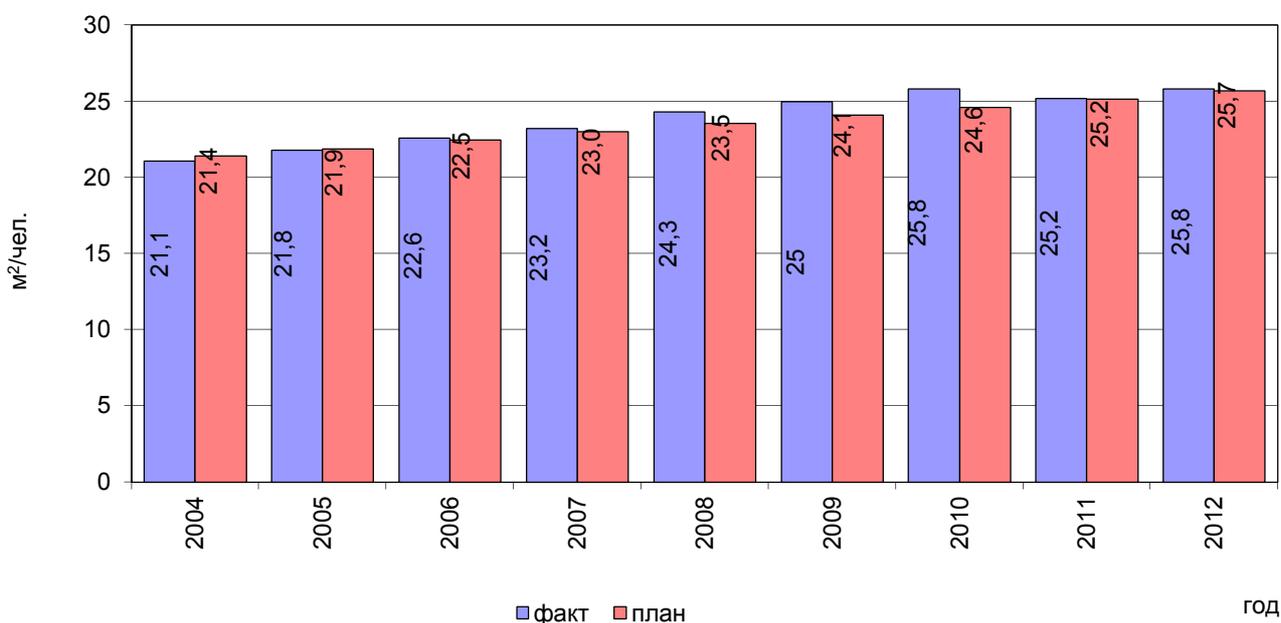


Рисунок 1 – Обеспеченность населения жилищным фондом

Из рисунка 1 следует вывод о том, что за период с 2004 г. по настоящее время фактическая обеспеченность жилищным фондом населения, в среднем, соответствует планируемой согласно генплану.

Анализ показателей строительства на территории городского округа город Воронеж, сопоставление их с планируемыми по генплану, позволяет принять оптимистичный сценарий градостроительного развития городского округа город Воронеж в схеме теплоснабжения.

На рисунке 2 представлен прогноз численности населения городского округа город Во-

ронез на весь период действия схемы теплоснабжения.

Из рисунка 2 следует, что планируемая численность населения на конец 2028 г. составит 1,111 млн. человек.

На рисунке 3 представлен прогноз общей площади жилых помещений, приходящихся на одного человека, исходя из данных проектной численности населения и перспективного строительства.

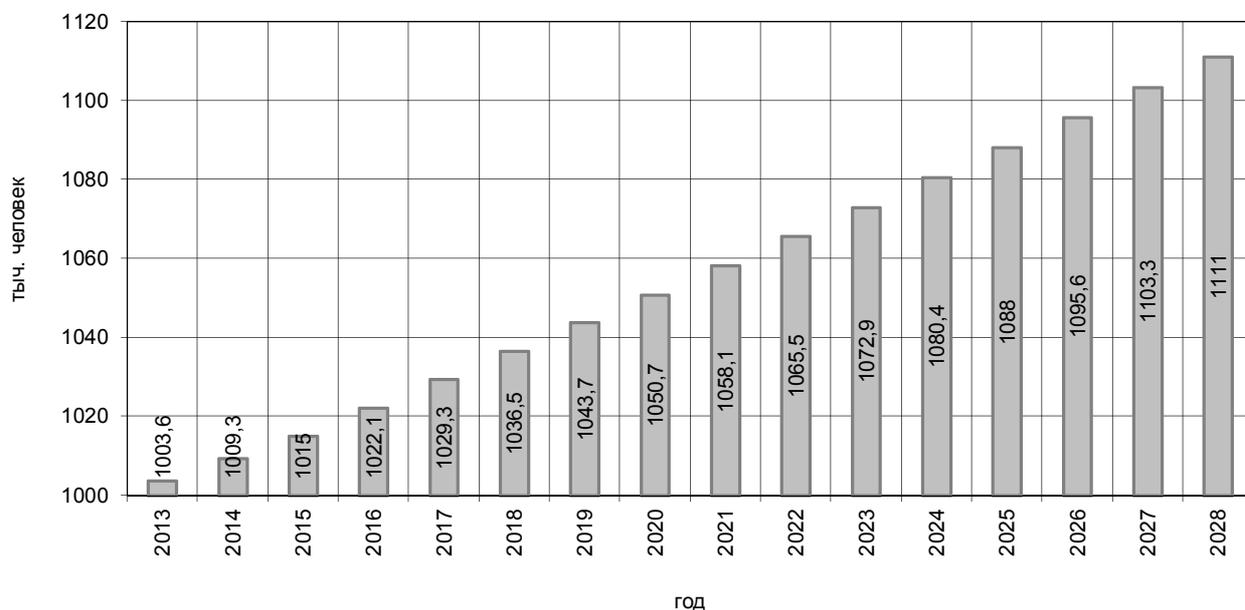


Рисунок 2 – Прогноз численности населения городского округа город Воронеж

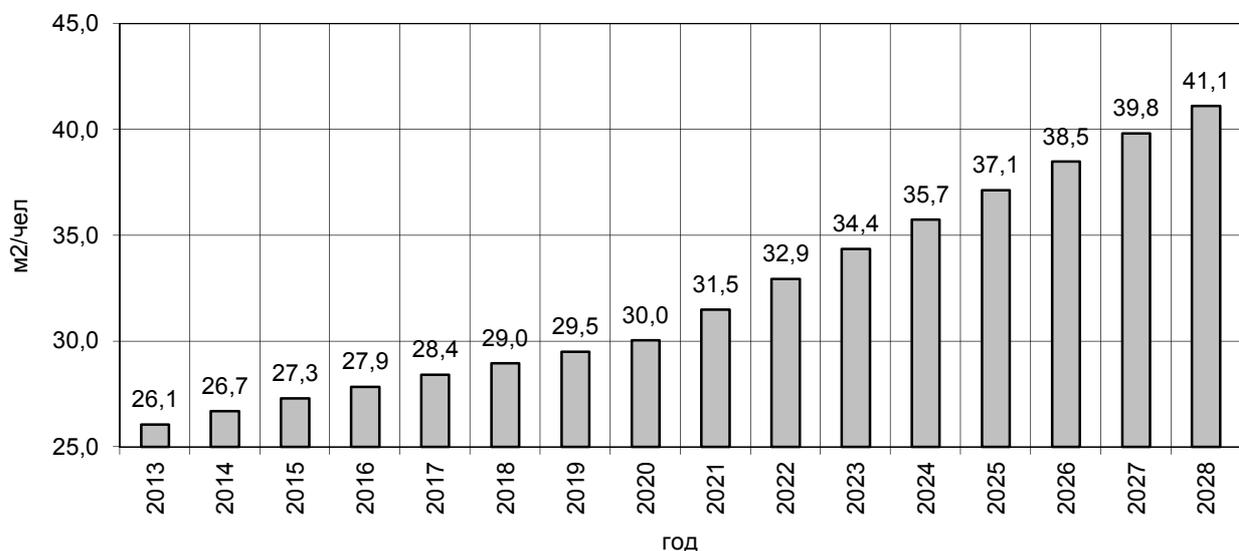


Рисунок 3 – Прогноз обеспеченности населения жилищным фондом

Из рисунка 3 следует, что к концу 2028 г. на одного жителя будет приходиться 41,1 м² общей площади жилых помещений. По сравнению с базовым 2012 годом (25,8 м²/чел.), показатель увеличится в 1,59 раза.

Анализ детальных проектов планировок позволил установить удельные показатели потребления тепловой энергии, учтенные при расчете перспективных тепловых нагрузок.

В таблице 3 представлены итоговые данные по расчетным тепловым нагрузкам, МВт нового строительства за период 2013-2028 гг.

Таблица 3 – Перспективные тепловые нагрузки нового строительства за период 2013-2028 гг., МВт

Вид строительства	Вид нагрузки			Сумма
	Отопление	ГВС	Вентиляция	
Жилищный фонд				
многоэтажное	167,620	146,532	33,288	347,440
5-6-7 этажное	16,130	12,326	2,840	31,296
3-4 этажное	36,404	25,871	0,000	62,275
коттеджное	99,580	43,231	0,000	142,811
Всего	319,734	227,960	36,128	583,822
Общественно-деловое строительство				
	72,881	6,596	56,282	135,760
Всего	392,615	234,557	92,410	719,582

Из таблицы 3 следует, что перспективная тепловая нагрузка нового строительства, с учетом энергоэффективного сценария развития строительной отрасли составит – 719,582 МВт (618,729 Гкал/ч). На рисунке 4 представлена диаграмма, отражающая прирост на каждом этапе расчетных часовых тепловых нагрузок нового строительства, МВт до 2028 года.

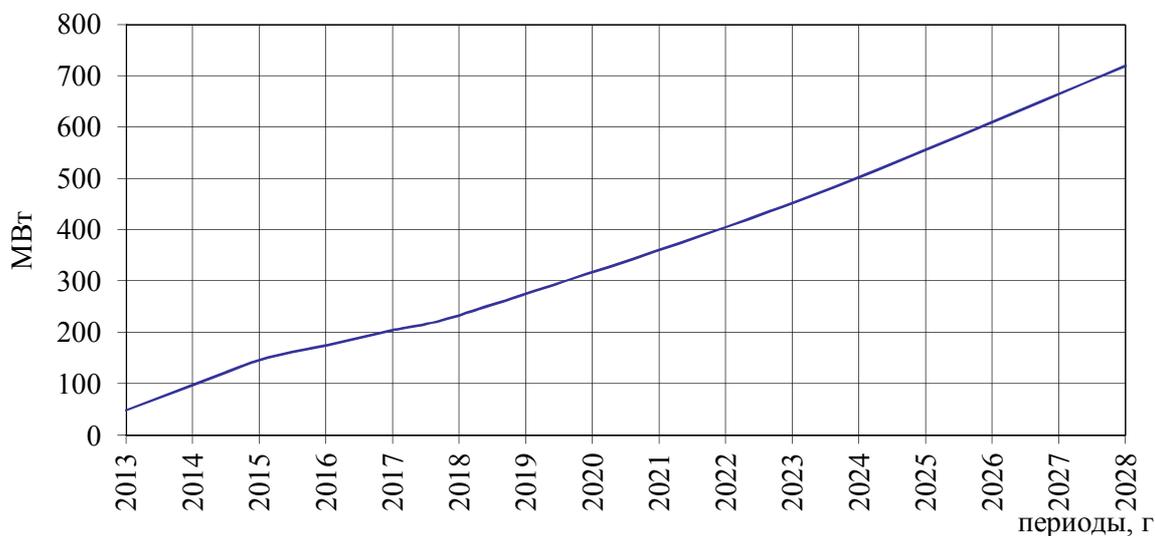


Рисунок 4 – Увеличение (прирост) часовой тепловой нагрузки перспективного строительства по годам

В таблице 4 представлены итоговые данные по перспективному теплопотреблению в тыс. Гкал нового строительства за период 2013-2028 гг.

Таблица 4 – Итоговые данные перспективного теплопотребления нового строительства, тыс. Гкал

Вид строительства	Вид теплопотребления			Сумма
	Отопление	ГВС	Вентиляция	
Жилищный фонд				
многоэтажн.	316,168	1058,548	42,478	1417,194
5-6-7 эт.	30,875	89,041	3,624	123,541
3-4 эт.	69,681	186,894	0,000	256,574
коттедж.	190,608	312,302	0,000	502,909
Всего	607,332	1646,784	46,102	2300,218
Общественно-деловое строительство				
	137,900	47,653	71,820	257,373
Всего	745,232	1694,437	117,922	2557,591

Из таблицы 4 следует, что перспективная тепловая мощность нового строительства составит – 2,558 млн. Гкал. На рисунке 5 представлена диаграмма, отражающая изменение перспективного теплового потребления для нового строительства до 2028 г.

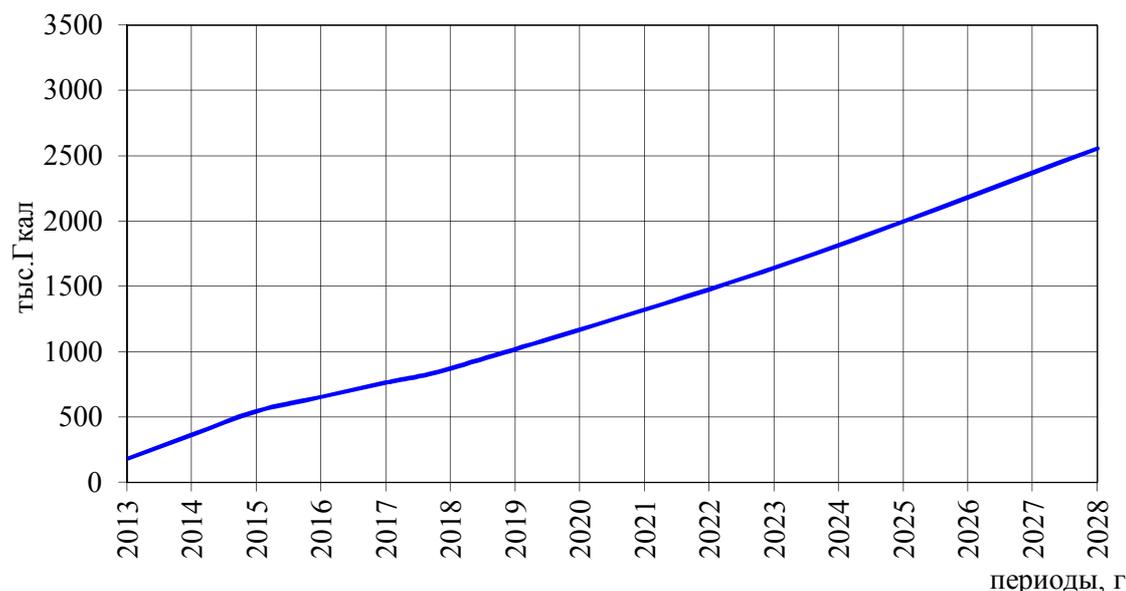


Рисунок 5 – Увеличение теплопотребления перспективного строительства по годам

В таблице 5 представлены прогнозные данные по увеличению теплового потребления по категориям и этапам. Теплопотребление общественно-делового строительства отнесено к многоквартирному фонду.

Таблица 5 – Увеличение потребления тепла городского округа город Воронеж по категориям и этапам, тыс. Гкал

Категория потребления	Период, год							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2023	2028
Жилищный фонд	3866,638	4048,892	4231,146	4340,498	4449,85	4559,202	5326,932	6241,974
в том числе:								
многоквартирный	3034,392	3183,911	3333,43	3423,141	3512,852	3602,563	4216,074	4939,554
индивидуальный	832,2463	864,9813	897,7163	917,3573	936,9983	956,6393	1110,858	1302,42
Промышленность	2316,952	2316,952	2316,952	2316,952	2316,952	2316,952	2316,952	2316,952
Всего	6183,59	6365,844	6548,098	6657,45	6766,802	6876,154	7643,884	8558,926

Из таблицы 5 следует, что к концу прогнозируемого периода действия схемы теплоснабжения (2028 г.), суммарное теплопотребление согласно инновационному варианту развития будет составлять 8558,926 тыс. Гкал.

На рисунке 6 представлено изменение суммарного теплопотребления по этапам для двух вариантов развития.

Анализ перспективного теплопотребления говорит о том, что устойчивое развитие городского округа город Воронеж на период до 2029 года по инновационному варианту в сфере градостроительной деятельности необходимо обеспечить надежным теплоснабжением на основе учета организационных, экономических, технических, технологических и социальных факторов.

Надежное теплоснабжение потребителей обеспечивается строительством, реконструкцией и техническим перевооружением источников выработки тепловой энергии и тепловых сетей.

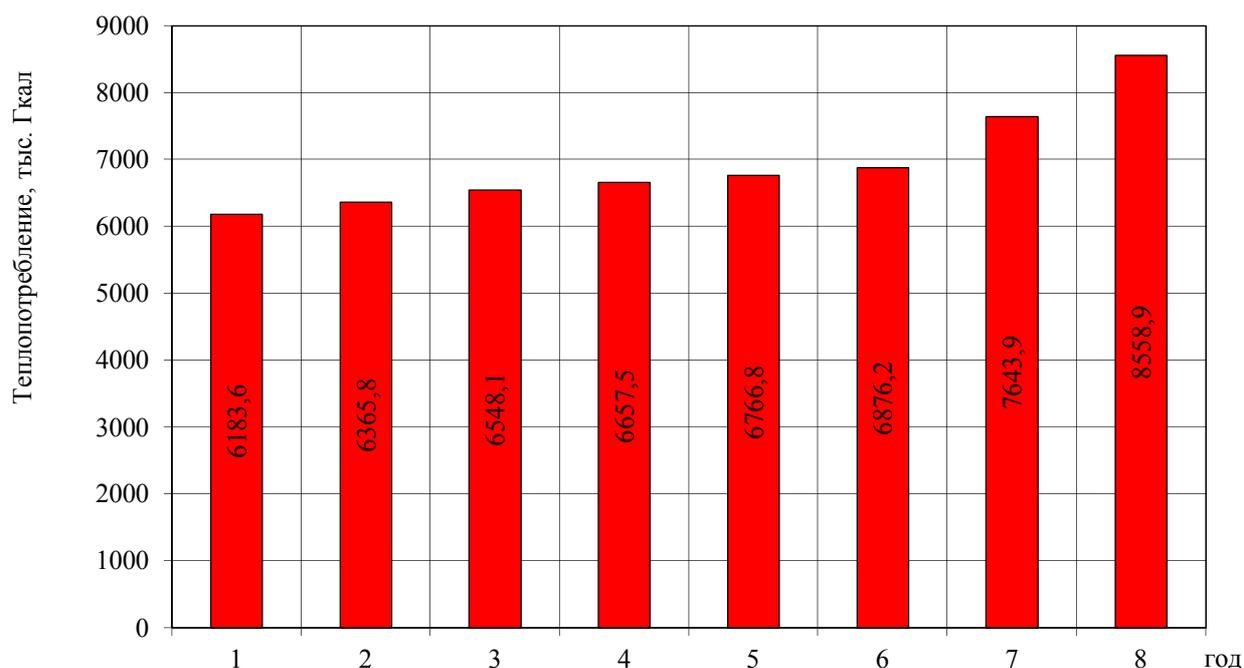


Рисунок 6 – Перспективное теплопотребление городского округа город Воронеж

Экономический фактор обеспечения теплоснабжения обусловлен не только объемами финансирования строительства, реконструкции и технического перевооружения, а так же с точки зрения социального фактора с прогнозированием роста экономически обоснованных тарифов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 23.11.2009 №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Текст].
2. Федеральный закон от 27.07.2010 № 190-ФЗ «О теплоснабжении» [Текст].
3. Постановление Правительства РФ от 22.02.2012г № 154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения» [Текст].
4. Совместный приказом Министерства энергетики РФ и Министерства регионального развития РФ от 29.12.2012 №565/667 «Об утверждении методических рекомендаций по разработке схем теплоснабжения» [Текст].
5. Генеральный план городского округа город Воронеж, принят решением Воронежской городской Думы №422-II от 19.12.2008 года [Текст].

В.Н. Семенов

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, г. Воронеж
Доктор экономических наук, заведующий кафедрой «Городское строительство и хозяйство»
E-mail: svnvgasu@mail.ru

V. SEMENOV

PROSPECTS FOR THERMAL ENERGY FOR HOUSING IN THE CITY DISTRICT OF VORONEZH UP TO 2029

In article prospects of housing construction in the city of Voronezh for the long period and ensuring housing construction with thermal energy of objects with thermal energy are considered.

Keywords: *housing construction, thermal energy, heat supply, master plan, scheme of heat supply, development options, housing stock, apartment houses, heatconsumption.*

BIBLIOGRAPHY

1. Federal'nyj zakon ot 23.11.2009 №261-FZ «Ob jenergoberezenii i o povyshenii jenergeticheskoj jeffektivnosti i o vnesenii izmenenij v otдел'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii» [Tekst].
2. Federal'nyj zakon ot 27.07.2010 № 190-FZ «O teplosnabzhenii» [Tekst].
3. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 22.02.2012g № 154 «O trebovanijah k shemam teplosnabzhenija, porjadku ih razrabotki i utverzhenija» [Tekst].
4. Sovmestnyj prikazom Ministerstva jenergetiki RF i Ministerstva regional'nogo razvitija RF ot 29.12.2012 №565/667 «Ob utverzhenii metodicheskikh rekomendacij po razrabotke shem teplosnabzhenija» [Tekst].
5. General'nyj plan gorodskogo okruga gorod Voronezh, prinjat resheniem Voronezhskoj gorodskoj Dumy №422-II ot 19.12.2008 goda [Tekst].

V. Semenov

Voronezh state architectural and construction university, Voronezh

Doctor of economic sciences, head of the department «Urban construction and economy»

E-mail: svnvgasu@mail.ru

УДК 608.2

КАРАВАЕВ И.В., РУМЯНЦЕВА В.Е.

К ВОПРОСАМ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ АНКЕРОВКИ АРМАТУРЫ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОМПОЗИТНОЙ В БЕТОНЕ

В современном бетоноведении одним из основных направлений является использование композитных материалов. Армированию бетонных конструкций арматурой неметаллической композитной в последнее время уделяется большое внимание. Однако в существующих ГОСТ и СП не указана применимость арматуры неметаллической композитной к конструкциям из железобетона. Это упущение обусловлено недостаточной экспериментально-теоретической базой в отношении арматуры неметаллической композитной. Отмечается, что наибольшая эффективность применения арматуры неметаллической композитной достигнута в преднапряженных конструкциях. Установлено, что преднапрягать такую арматуру возможно лишь при наличии специальных анкерных устройств или захватов. Следовательно, существует необходимость создания приспособлений и инструментов для определения свойств, характера работы арматуры неметаллической композитной в бетоне. Предметом детального обсуждения данной статьи является устройство, при помощи которого можно исследовать свойства анкеровки композитного стержня в бетоне.

***Ключевые слова:** бетон, арматура неметаллическая композитная, методика испытаний, анкеровка, коррозия.*

В современном бетоноведении одним из основных направлений является использование композитных материалов. Армированию бетонных конструкций арматурой неметаллической композитной в последнее время уделяется большое внимание.

В течение многих десятилетий металлическая арматура не имела альтернативы, несмотря на то, что коррозионная деструкция металла в железобетонных конструкциях приводит к преждевременной потере несущей способности конструкций, особенно при воздействии на них агрессивных сред. По данным литературных источников [1], 75% железобетонных конструкций подвергаются воздействию агрессивных сред – это дорожные, мостовые конструкции, подземные переходы, тоннели, коллектора, конструкции подземных гаражей и многое другое.

В США, по данным международной ассоциации инженеров – коррозионистов NACE, ущерб от коррозии и затраты на борьбу с ней составляют 3,1% от ВВП (276 млрд. долларов). В Германии этот ущерб составляет 2,8% от ВВП. По оценкам специалистов различных стран эти потери в промышленно развитых странах составляют от 2 до 4% валового национального продукта [2]. При этом потери металла, включающие массу вышедших из строя металлических конструкций, изделий, оборудования, составляют от 10 до 20% годового производства стали.

В России нет официальной статистики, которая бы отражала экономический ущерб от коррозии, но, по некоторым оценкам, он составляет не менее 5% от ВВП.

Уменьшить потери от коррозии, в первую очередь в конструкциях, подвергающихся воздействию агрессивных сред, можно путем применения арматуры неметаллической композитной.

В последнее время большое внимание в России и за рубежом уделяется исследованию свойств арматуры неметаллической композитной и ее применению для армирования бетонных конструкций [3].

Стержни арматуры неметаллической композитной производятся методом пултрузии – протяжкой ровинга, пропитанного жидким связующим, через фильеру круглого сечения с од-

новременной обмоткой сформированного стержня по спирали тонким жгутом или покрытием кварцевым песком. Другой метод – нидлтрязии – бесфильтерный, при котором формирование круглого стержня из собранных в пучок, пропитанных прядей ровинга, осуществляется винтовой обмоткой его, двумя такими же прядями, при непрерывной протяжке стержня с заданной скоростью [4].

В настоящее время установлена возможность получения стеклопластиковой арматуры со следующими показателями: временное сопротивление разрыву до 1500 МПа, начальный модуль упругости порядка 50000 МПа, плотность 1,8-2,0 т/м³ при весовом содержании стекловолокна 80%; рабочая диаграмма арматуры при растяжении практически прямолинейна до разрыва, предельные деформации к этому моменту составляют 2,5-3%; долговременная прочность арматуры в нормальных температурно-влажностных условиях составляет 65% ее временного сопротивления, коэффициент линейного расширения (5,5-6)·10⁻⁶ [3].

Необходимо отметить, что наибольшая эффективность применения арматуры неметаллической композитной достигнута в преднапряженных конструкциях. Однако преднапрягать такую арматуру возможно лишь при наличии специальных анкерных устройств или захватов [4-6].

Одной из важных характеристик совместной работы бетона и арматуры является прочность анкеровки арматуры в бетоне. Анкерровкой стержня в соответствии с п. 3.1 СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции» в бетоне называют свойство стержня удерживаться и передавать усилия на бетон вне расчетного сечения при приложении к нему нагрузки, которая возникает в процессе работы конструкции.

Прочность анкеровки зависит от таких параметров как, прочность, плотность, химический состав бетона; вида профиля, технологии формирования профиля прутка (горячекатаный или холоднодеформированный), предела прочности арматуры. Изменение каждого параметра влияет на базовую длину анкеровки как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения [7, 8].

Стеклопластиковая арматура, являясь трансверсально-изотропным материалом, обладает высокой прочностью при растяжении вдоль волокон и низкой прочностью при сжатии в поперечном направлении. Интенсивный поиск по созданию захватных и анкерных устройств для стеклопластиковой арматуры разделился на ряд направлений [3]:

1. анкеровка в набивных с помощью кварцевого песка устройствах;
2. анкеровка за счет сил сцепления с отверждаемыми композициями, термопластичными материалами, быстротвердеющими пластмассами, обжатыми тем или иным образом;
3. усиление концов стержней стеклонитью, пропитанной синтетическим связующим;
4. анкеровка за счет сил трения между стеклопластиковой арматурой и обжимающими ее деталями анкерных и захватных устройств.

Базовая длина анкеровки арматуры рассчитывается по формуле 10.1 СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции», которая применима и к металлической арматуре:

$$l_{0,an} = \frac{R_s \cdot A_s}{R_{bond} \cdot u_s}, \quad (1)$$

где R_s – расчетное значение сопротивления арматуры растяжению, кН/м²; A_s – площадь поперечного сечения анкеруемого стержня арматуры, определяемый по номинальному диаметру стержня, м²; R_{bond} – расчетное сопротивление сцепления арматуры с бетоном, кН/м²; u_s – периметр поперечного сечения анкеруемого стержня арматуры, определяемый по номинальному диаметру стержня, м.

В СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции» применение арматуры неметаллической композитной в железобетонных конструкциях исключено, а, следовательно, для нее нет каких-либо указаний по использованию в несущих конструкциях; формулы, определяющие работу арматуры неметаллической композитной в бетоне; отсутствуют формулы для определения длины анкеровки арматуры неметаллической композитной. Все выше перечисленное накладывает ограничения на применение арматуры неметаллической композитной в проектах, поскольку для каждого типа арматуры неметаллической композитной необходимо получать данные о ее работе в бетоне эмпирическим путем.

Для получения данных длины анкеровки для определенной марки бетона и арматуры неметаллической композитной, выполненной в соответствии с ТУ завода изготовителя или в

соответствии с ГОСТ 31938-2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия», необходимо провести серию испытаний в соответствии с приложением Д ГОСТ 31938-2012, по результатам которых должно быть определено средневзвешенное расчетное сопротивление сцепления арматуры с бетоном (R_{bond}) для партии арматуры [9].

$$R_{bond} = \frac{N}{A_t}, \quad (2)$$

где N – усилие выдергивания стержня, кН; A_t – площадь поверхности арматуры, находящаяся в контакте с бетоном, м².

Натурное испытание заключается в выдергивании из бетонного образца, обычно в форме куба, арматурного прутка известной длины. Длина арматурного прутка зависит от его диаметра и складывается из суммы длины анкеровки ($5d$, где d – диаметр арматурного прутка), длины установки образца в испытательную машину и длины конструкции испытательной муфты.

Испытание следует производить на разрывной машине со специальным приспособлением, которое обеспечит условия закрепления, близкие к реальным условиям работы бетона и арматуры неметаллической композитной. Данное приспособление должно иметь ровную площадку, соприкасающуюся с поверхностью бетонного образца, для того, чтобы равномерно передавать давление. В случае неравномерной передачи давления от кубика на пластину, могут возникнуть локальные усилия, которые превысят прочность бетона сжатия и приведут к раскалыванию образца. Раскалывание образца от таких напряжений не даст достоверных значений усилия анкеровки, которые окажутся заниженными или увеличат разброс получаемых значений в испытываемой партии.

Для сглаживания вероятных локальных искривлений на контактирующих поверхностях, следует предусмотреть тонкую упругую прокладку из резины или экструдированного пенополистирола.

Недостатком арматуры неметаллической композитной является низкая прочность в поперечном направлении, это делает невозможным использование обычных захватов разрывной машины, поскольку они будут разламывать прутки в местах закрепления. Необходимо передавать усилия равномерно по всей площади, без резких скачков. Для этого следует использовать металлическую гильзу, в которую при помощи вяжущих или клеящих компонентов вклеивается прутки арматуры.

При испытании на прочность чаще всего строится диаграмма усилие–перемещение, для определения характера деформаций при выдергивании стержня из бетона. Для того, чтобы диаграмма перемещений была достоверной, необходимо применять такие материалы или сечения, которые не будут вносить искажения в диаграмму за счет собственных деформаций, либо, корректировать искаженную диаграмму, основываясь на диаграмме деформаций, возникающих в устройстве в процессе проведения испытаний (рис. 1). Диаграмму деформаций устройства можно получить либо предварительно испытав устройство, либо в процессе испытания стержней на вырывание при помощи датчиков, определяющих такие деформации.

Для исследования прочности анкеровки арматуры неметаллической композитной диаметром 10 мм было запроектировано приспособление с учетом вышеизложенных требований, состоящее из двух частей (рис. 2 и 3): удерживающего устройства и гильзы.

Удерживающее устройство (1) состоит из двух одинаковых частей. Каждая часть состоит из двух уголков 75×5, скрепленных пластиной толщиной 10 мм. В центре одной пластины имеется отверстие для болта (3), за который будет удерживаться конструкция в зажимах разрывной машины, а в центре второй пластины отверстие служит для подачи арматурного прутка (2) с гильзой (4) к зажимам разрывной машины.

Между собой две части крепятся при помощи четырех болтов М12 через фиксирующие проставки (трубки), которые удерживают конструкцию в одном положении.

Болт (3) не должен фиксироваться жестко к пластине при помощи гайки с обратной стороны, чтобы в процессе испытания он смог находиться на продольной оси испытываемого стержня. Такое подвижное закрепление избавит от изгибов самого приспособления, которое

может возникнуть от несоосных отверстий, недостаточно точно выполненных соединений или непараллельности граней бетонного кубика.

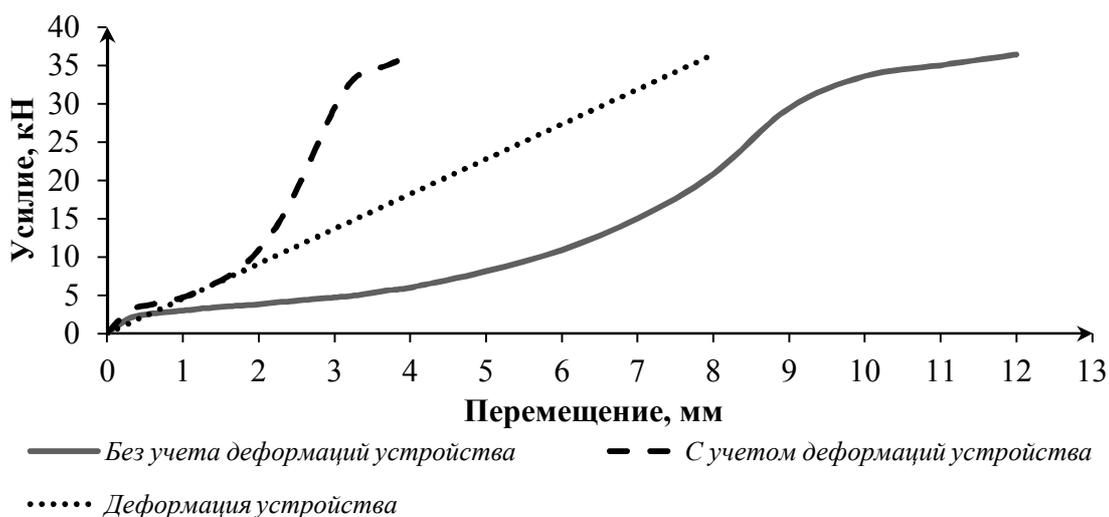


Рисунок 1 – Диаграмма, полученная при испытании стержней стеклопластиковой арматуры на вырывание

Пластина, которая является опорой бетонного кубика, должна обладать ровной поверхностью, а возможные наплывы на поверхности кубика (1) компенсируются применением упругой прокладки из экструдированного полистирола. К сожалению, упругая прокладка может вносить в диаграмму перемещений собственные перемещения на начальных этапах загрузки, что следует учитывать при интерпретации полученных результатов.

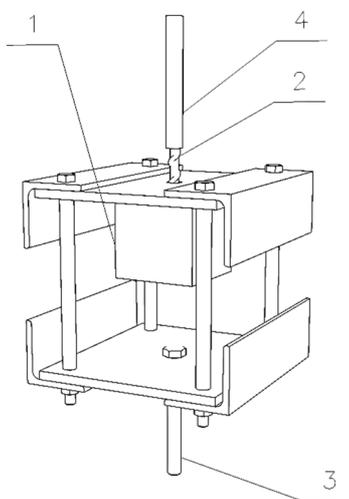


Рисунок 2 – Приспособление для испытаний на вырывание арматурного стержня из бетона

Гильза (4), показанная на рисунках 2 и 3, необходима для передачи растягивающего усилия на арматуру за счет приклеивания и передает лишь сдвиговые усилия на поверхность арматуры, которые впоследствии равномерно перераспределяются в продольные усилия в силовом стержне арматуры неметаллической композитной. Также, она не дает расколоть прутки зажимам разрывной машины в поперечном направлении за счет жесткости стальной трубки.

Такая конструкция удерживающего устройства обеспечивает равномерность передаваемых усилий на исследуемый образец.

На данное устройство было получено положительное решение о выдаче патента РФ на полезную модель (№2014122276/28(036230) от 02.06.2014).

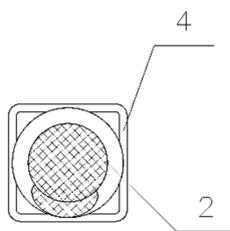


Рисунок 3 – Поперечное сечение гильзы

Тематикой дальнейших исследований является разработка методики испытаний и создание расчетной модели для определения прочности сцепления арматуры неметаллической композитной с бетоном, что позволит впоследствии разработать формулы для расчета арматуры неметаллической композитной в железобетонных конструкциях. В этом случае снимется ограничение на области применения арматуры неметаллической композитной, появится возможность использования арматуры неметаллической композитной не только в дорожном, но и в гражданском и промышленном строительстве в качестве рабочего армирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанова, В.Ф. Важнейшие условия долговечного сохранения основных фондов [Текст] / В.Ф. Степанова // Строительная газета. 9 февраля 2007. – №6. – С. 48.
2. Ивановский, В.Н. Теоретические основы процесса коррозии нефтепромыслового оборудования [Текст] / В.Н. Ивановский // Инженерная практика. – 2010. – №6. – С. 4-14.
3. Степанова, В.Ф. Арматура композитная полимерная [Текст] / В.Ф. Степанова, А.Ю. Степанов, Е.П. Жирков. – Москва: ООО «Бумажник», 2013. – 200 с.
4. Климов, Ю.А. Экспериментальные исследования сцепления композитной неметаллической арматуры с бетоном [Текст] / Ю.А. Климов, О.С. Солдатченко, Д.А. Орешкин // Научно-технический сборник. – Киев. Градостроительство и территориальное планирование. – 2010. – №42. – С. 168-175.
5. Хозин, В.Г. Сцепление полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном [Текст] / В.Г. Хозин, А.А. Пискунов, А.Р. Гиздатуллин, А.Н. Куклин // Известия КГАСУ. – 2013. – №1 (23). – С. 214-220.
6. Караваяев, И.В. Методы усиления анкеровки стекловолоконной арматуры [Текст] / И.В. Караваяев // Разработка машин и агрегатов, исследование тепломассообменных процессов в технологиях производства и эксплуатации строительных материалов и изделий: сб. материалов Круглого стола, посвященного научной школе академика РААСН, д.т.н., профессора С.В. Федосова. – Иваново: ИГАСУ, 2013. – С. 38-41.
7. Байков, В.Н. Железобетонные конструкции [Текст]: Общий курс. Учебник для вузов. 5-е изд., перераб. / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.
8. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [Текст]. – Москва, 2012.
9. Бондаренко, В.М. Железобетонные и каменные конструкции [Текст] / В.М. Бондаренко, Д.Г. Суворкин. – М.: Высш. Шк., 1987. – 384 С.

В.Е. Румянцева

Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново
Доктор технических наук, профессор, директор института социально-гуманитарных и естественных наук
E-mail: varrym@gmail.com

И.В. Караваяев

Ивановский государственный политехнический университет
Аспирант
E-mail: ivakaa@gmail.com

V. RUMYANTSEVA, I. KARAVAEV

ON TEST METHODS FOR NON-METAL COMPOSITE BAR ANCHORAGE

At last time, one of the main ways in science of materials is the use composite materials. Concrete constructions with composite reinforcement have much attention. But in GOST or SP not specified about applicability of composite reinforcement to reinforcement concrete. This is due to the lack of experimental and theoretical basis in relation to composite reinforcement. It is noted that the highest efficiency of composite reinforcement achieved in prestressed constructions. It was established that the prestressing reinforcement is only possible with special anchoring devices or grippers. Therefore, it is necessary to create tools and instruments to determine the properties and how it working in the concrete. This article is discusses an apparatus with which we can to investigate the properties of the anchoring of the composite rod in concrete.

Keywords: concrete, composite reinforcement, experiment, anchoring, corrosion.

BIBLIOGRAPHY

1. Stepanova, V.F. Vazhnejshie usloviya dolgovechnogo sohraneniya osnovnyh fondov [Tekst] / V.F. Stepanova // Stroitel'naja gazeta. 9 fevralja 2007. – №6. – S. 48.
2. Ivanovskij, V.N. Teoreticheskie osnovy processa korrozii neftepromyslovogo oborudovanija [Tekst] / V.N. Ivanovskij // Inzhenernaja praktika. – 2010. – №6. – S. 4-14.
3. Stepanova, V.F. Armatura kompozitnaja polimernaja [Tekst] / V.F. Stepanova, A.Ju. Stepanov, E.P. Zhirkov. – Moskva: OOO «Bumazhnik», 2013. – 200 s.
4. Klimov, Ju.A. Jeksperimental'nye issledovanija scepnenija kompozitnoj nemetallicheskoj armatury s betonom [Tekst] / Ju.A. Klimov, O.S. Soldatchenko, D.A. Oreshkin // Nauchno-tehnicheskij sbornik. – Kiev. Gradostroitel'stvo i territorial'noe planirovanie. – 2010. – №42. – S. 168-175.
5. Hozin, V.G. Scepnenie polimerkompozitnoj armatury s cementnym betonom [Tekst] / V.G. Hozin, A.A. Piskunov, A.R. Gizdatullin, A.N. Kuklin // Izvestija KGASU. – 2013. – №1 (23). – S. 214-220.
6. Karavaev, I.V. Metody usilenija ankerovki steklovolokonnoj armatury [Tekst] / I.V. Karavaev // Razrabotka mashin i agregatov, issledovanie teplomassoobmennyh processov v tehnologijah proizvodstva i jekspluatcii stroitel'nyh materialov i izdelij: sb. materialov Kruglogo stola, posvjashhennogo nauchnoj shkole akademika RAASN, d.t.n., profesora S.V. Fedosova. – Ivanovo: IGASU, 2013. – S. 38-41.
7. Bajkov, V.N. Zhelezobetonnye konstrukcii [Tekst]: Obshhij kurs. Uchebnyj dlja vuzov. 5-e izd., pererab. / V.N. Bajkov, Je.E. Sigalov. – M.: Strojizdat, 1991. – 767 s.
8. SP 63.13330.2012 Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozhenija [Tekst]. – Moskva, 2012.
9. Bondarenko, V.M. Zhelezobetonnye i kamennye konstrukcii [Tekst] / V.M. Bondarenko, D.G. Suvorkin. – M.: Vyssh. Shk., 1987. – 384 S.

V. Rumyantseva

Ivanovo state polytechnic university, Ivanovo

Doctor of technical sciences, professor, director of Institute of socio-arts and sciences

E-mail: varrym@gmail.com

I. Karavaev

Ivanovo state polytechnic university, Ivanovo

Graduate

E-mail: ivakaa@gmail.com

КОРОХОВ В.Г., БУРОВА И.В.

МИНИМИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СВАРОЧНО-МОНТАЖНЫХ ПОТЕРЬ ПРИ ОГРАНИЧЕННОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ВЫБОРКЕ

Расход сварочных электродов, электроэнергии и производительность монтажных работ в большой мере определяются технико-эксплуатационными показателями электродов: коэффициентами наплавки, потерь, устойчивостью горения дуги. В статье представлены результаты экспериментальных исследований и статистического анализа с уточнением показателей наиболее широко применяемых электродов марок АНО-21, Монолит РЦ и МР-3. Значимость различий выборочных средних показателей каждой из групп испытанных марок электродов позволила их сопоставлением выделить оптимальное сочетание наиболее весомых технико-экономических характеристик, минимизирующих материально-энергетические потери, повышающих точность расчетов и достоверность конечных результатов планируемых сварочно-монтажных работ, которые будут выполняться электродами определенной марки, более соответствующими конкретным сварочным операциям.

Ключевые слова: сварка, электрод, дуга, наплавка, потери, производительность, минимизация оптимизация, сопоставление, эффективность.

Постановка проблемы

Экономическая эффективность сварочных работ при монтаже металлических строительных конструкций и трубопроводов в значительной мере зависит от выполнения нескольких противоречивых требований, предъявляемых к процессу ручной электродуговой сварки электродами с качественным покрытием. Это такие требования, как минимизация расхода электродов и электроэнергии при достаточно высокой производительности наплавки шва, его бездефектности, гарантирующей надежность соединения заготовок. Это обеспечивается как режимными параметрами источника питания электрической дуги, так и технико-эксплуатационными показателями электродов [1], [2], к основным из которых относятся коэффициенты расплавления и наплавки электродного металла, коэффициент его потерь при выгорании в дуге и разбрызгивании [3], [4], [5], обрывная длина дуги и стабильность, продолжительность ее горения.

Электроды наиболее широко применяемых марок, такие как АНО-21, Монолит РЦ, МР-3, существенно различаются своими технико-эксплуатационными характеристиками, которые недостаточно освещены в технической информации. В силу этого сложно выделить оптимальное сочетание наиболее весомых показателей электрода, какой либо из указанных марок, который бы в наибольшей мере соответствовал перечисленным требованиям и конкретным сварочным операциям. Другая сложность состоит в практическом отсутствии надежных исходных показателей для выполнения калькуляционных расчетов при планировании значительных объемов сварочно-монтажных работ.

В связи с этим возникла необходимость в проведении экспериментально – статистических исследований указанных электродов для определения уточненных значений их эксплуатационных показателей и их оптимального сочетания.

Анализ основных исследований и публикаций

Как известно [6], электродуговая сварка, выполняемая вручную, осуществляется с использованием плавящегося электрода в виде проволоки из качественной или высококачественной низкоуглеродистой стали, на поверхность которой нанесено покрытие из смеси неметаллических компонентов и оксидов металла. Если стальной стержень предназначен для

образования соединительного шва при расплавлении в электрической дуге, то покрытие – многофункционально. От состава покрытия зависят: скорость расплавления металла электрода, его выгорание и разбрызгивание, окисляемость, стабильность горения электрической дуги, эксплуатационные свойства металла шва. Составы покрытий электродов разных марок существенно различаются между собой [7], [8], [9]. Выпускаются электроды с такими типами покрытий, как кислое, целлюлозное, рутиловое, основное, а так же, покрытия смешанных типов.

Электроды, рекомендуемые для сварки углеродистых сталей, характеризуются следующими показателями.

Электрод марки МР – 3 с рутиловым покрытием из диоксида титана в форме минерального рутила (TiO_2) предназначен для сварки горизонтальных и вертикальных швов сталей марок Ст.3, Сталь 10, Сталь 20. Он обеспечивает хорошее формирование шва. Коэффициент потерь электродного металла $K_n=10\%$. Сведений о коэффициенте наплавки и устойчивости горения дуги – нет [8].

Электрод марки АНО – 21 с рутил – целлюлозным покрытием из органических компонентов и целлюлозы, которые сгорая в дуге, образуют, защитный газ, предназначен для сварки сталей тех же марок, но малых толщин [7], обеспечивает легкое зажигание дуги. Значения коэффициентов наплавки и потерь не приводятся.

Электрод марки Монолит РЦ с покрытием из основных оксидов кальция (CaO) и магния (MgO), и разбавителя в виде плавикового шпата (CaF_2), предназначен для сварки указанных сталей [9], горение дуги стабильное при малом разбрызгивании металла. Коэффициент наплавки 8,5...9 г/А.ч, коэффициент потерь не приводится.

Установлено [5], что каждая марка электрода обладает различным сочетанием и уровнем свойств, обеспечивающих указанные требования. Каждый компонент покрытия, может выполнять одну или несколько функций в процессе сварки, однако один и тот же компонент, но в различных видах и комбинациях состава покрытий может выполнять и различающиеся функции.

Ограниченность в научно-технических публикациях [5], [7], [8], [9], [10] требуемых сведений об эксплуатационных показателях указанных марок электродов определила необходимость проведения совокупности исследований.

Целью настоящей работы является изучение технико-эксплуатационных показателей электродов марок АНО-21, Монолит РЦ, МР-3 для минимизации их расхода и снижения энергопотерь при выполнении сварочно-монтажных работ металлоконструкций из углеродистой стали.

Оригинальная часть

Исследования электродов проводились на опытной сварочной установке и сваркой вручную, при этом поставлены такие задачи:

- Экспериментально определить коэффициенты расплавления, наплавки, потерь, а так же устойчивость горения дуги по обрывной ее длине и продолжительности горения до угасания.
- Выполнить статистический анализ для оценки значимости результатов ограниченных экспериментальных выборок с учетом той неопределенности, которая неизбежна при небольшом числе поставленных опытов [11], чтобы распространить результаты опытов на всю генеральную совокупность, а так же, для определения значимости различий между технико-эксплуатационными показателями выборок, характеризующих сравниваемые электроды.
- Сопоставить значения коэффициентов, полученных на экспериментальной установке и при сварке вручную.
- Вывести оптимальную совокупность технико-экономических показателей испытанных электродов для рекомендации к применению тех из них, которые обеспечивают минимальный расход сварочных материалов и электроэнергии при необходимой производительности и высоком качестве сварки.

Таблица 1 – Показатели сварочного процесса, выполняемого электродами трех марок на экспериментальной установке и вручную.

ПОКАЗАТЕЛЬ	Сварка на установке неподвижными электродами			Сварка электродами вручную		
	АНО-21	Монолит РЦ	МР-3	АНО-21	Монолит РЦ	МР-3
Диаметр стержня, мм	3	3	3	3	3	3
Сила сварного тока, А	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0
Вес расплавленного металла электрода при каждом включении, г	1,74;1,70;	1,97;1,92;	1,88;1,83;	6,66	7,43	7,79
	1,77;1,26;	2,04;1,26;	1,84;1,44	7,21	7,71	7,49
	1,23;1,28;	1,28;1,29;	1,43;1,45;	7,10	7,82	8,10
	1,42;1,40;	1,69;1,65;	1,46;1,45;			
Всего, г	1,45 13,25	1,65 14,75	1,47 14,25	20,97	22,96	23,38
Вес наплавленного металла на пластину при каждом включении, г	1,14;1,14;	1,55;1,57;	1,16;1,15;	5,73	6,75	6,85
	1,14;1,10;	1,56;1,12;	1,17;1,10;	6,46	7,05	6,47
	1,10;1,10;	1,10;1,15;	1,12;1,11;	6,08	6,96	6,90
	1,10;1,11;	1,18;1,17;	1,10;1,16;			
Всего, г	1,11; 10,04	1,20; 11,60	1,16; 10,23	18,27	20,76	20,22
Продолжительности сварок, сек.	до обрыва дуги на установке			Сварки вручную		
	8,4;6,6;7,2; 7,0;7,0;6,0; 6,8;7,2;7,5;	9,8;8,0;9,0; 7,2;8,2; 7,2;9,8; 9,4;9,5;	7,6;8,0;7,1; 8,6;5,0;7,0; 6,8;6,4;	30,0;30,0; 30,0;	30,0;30,0; 30,0;	30,0;30,0; 30,0;
Суммарная продолжительность, сек.	63,7	78,1	63,5	90,0	90,0	90,0
Коэффициент расплавления, г/А·ч	4,98	4,52	5,37	5,59	6,12	6,23
Коэффициент наплавки, г/А·ч	3,78	3,58	3,87	4,87	5,54	5,39
Коэффициент потерь, %	24,23	21,36	28,21	12,88	9,58	13,51
Обрывная длина дуги, при каждом включении, мм	26,5;23,0;	30,5;28,0;	21,5;25,5;			
	24,0;	30,0;29,0;	23,5;			
	23,0;24,5;	27,5;26,5;	32,0;21,5;			
	21,0;	29,0;27,5;	27,0;29,0;			
	23,0;24,0;	30,5;	28,0;			
Среднее значение, мм	26,0; 23,88;	29,5; 28,72;	29,5; 26,38	–	–	–

Экспериментальная установка включает в себя основание с винтовой передачей для перемещения электрододержателя и фиксирования начального зазора между концом электрода и свариваемой пластиной.

Для определения обрывной длины дуги и коэффициентов расплавления, наплавки и потерь, на установке закреплялись неподвижно по одному электроду и пластине. Дуга обрывалась при образовании большого зазора между пластиной и расплавляющимся электродом. Продолжительность ее горения измерялась секундомером, а обрывная длина – с помощью штангенциркуля и измерительного клина, который вкладывали между наплавленным металлом и электродом.

Для определения тех же коэффициентов, приближенных к реальным условиям сварки – при оптимальной длине дуги, наплавка металла на пластину осуществлялась ручной электросваркой теми же электродами. Количество расплавленного металла электрода определялось измерением его длины до и после сварки, количество металла, наплавленного на каждую пластину, определялось – их взвешиванием до и после сварки.

Результаты измерений, зафиксированных в протоколах, представлены в таблице 1 для статистической обработки и анализа [14], [16], [18].

Количество расплавленного металла электрода характеризуется [17], коэффициентом расплавления, α_p , (1):

$$\alpha_p = \frac{G_p}{I_{св} \cdot t}, \text{ г/А} \cdot \text{ч}, \quad (1)$$

где G_p – вес расплавленного металла, г; $I_{св}$ – сила сварочного тока, А; t – продолжительность горения дуги, ч.

Производительность процесса сварки определяют, исходя из коэффициента наплавки, α_n (2):

$$\alpha_n = \frac{G_n}{I_{св} \cdot t}, \text{ г/А} \cdot \text{ч}, \quad (2)$$

где G_n – вес наплавленного металла, г.

Коэффициент потерь ψ металла электрода при разбрызгивании и выгорании вычисляется [2], [17] по зависимости (3):

$$\psi = \frac{G_p - G_n}{G_p} \cdot 100 \%. \quad (3)$$

Устойчивость горения дуги каждого из электродов проверялась по обрывной длине дуги и по продолжительности ее горения до естественного угасания; показатели коррелируемы.

Статистическая обработка [15], [16] результатов выполненных экспериментов.

За величину результата искомого показателя принимается среднеарифметическое значение всех замеров (после исключения систематических ошибок), которое вычисляется по формуле (4):

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (4)$$

Рассеяние, т.е. разброс полученных экспериментальных данных, характеризует [13] дисперсия S_x^2 (5):

$$S_x^2 = \frac{\sum \varepsilon_i^2}{n-1}, \quad (5)$$

она определяется по среднеквадратическому отклонению S_x результатов измерений, из зависимости (6):

$$S_x = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (6)$$

где X_1, X_2, \dots, X_n – результаты измерений; \bar{X} – среднеарифметическое значение; n – объем выборки, т.е. число измерений; ε_i – абсолютная ошибка измерения.

Понятно, что надежность выполненных экспериментов будет зависеть от числа измерений n и от величины допускаемой ошибки ε_i в доверительном интервале. Тогда, средняя квадратическая ошибка среднего [13], определяется по формуле (7):

$$m = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n(n-1)}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}}, \quad (7)$$

а доверительный интервал выборочного среднего значения при этом ограниченном числе измерений будет (8):

$$M \pm tm, \quad (8)$$

где значение t для любого заданного уровня вероятности от нуля до 99,99% определится критерием Стьюдента в зависимости от степени свободы (9):

$$f = n - 1. \quad (9)$$

1. Вычисления основных статистических характеристик обрывной длины дуги при сварке на установке неподвижными электродами Монолит РЦ.

Размах выборки: $R = X_{max} - X_{min} = 30,5 - 6,5 = 24$ мм.

Среднеарифметическое: $\bar{X} = 28,72$ мм.

Характеристиками распределения являются медиана (серединное значение выборки) и мода (наиболее часто встречающееся значение).

Медиана выборки равна 29 мм. Мода выборки равна 30,5 мм. Среднеквадратическое отклонение $S_x = 1,44$ мм вычислено по зависимости (6). Границы доверительного интервала для S_x ($n = 9$, задаем $\alpha = 0,95$), величины: $\gamma_1 = 0,68$, $\gamma_2 = 1,9$, $S_{min} = 1,44 \times 0,68 = 0,98$ мм; $S_{max} = 1,44 \times 1,9 = 2,74$ мм.

С вероятностью 0,95 S_x может находиться в промежутке от 0,98 мм до 2,74 мм.

Коэффициентом вариации результатов измерений, является относительная величина среднеквадратического отклонения: $V_x = [S_x / \bar{X}] 100\% = 5,01\%$.

Такой коэффициент вариации позволяет проводить сравнительный анализ сопоставляемых электродов при незначительном влиянии случайных погрешностей на результаты измерений в разных сериях опытов.

Гистограмма частот (рис. 1) выборки показывает, что распределение близко к нормальному.

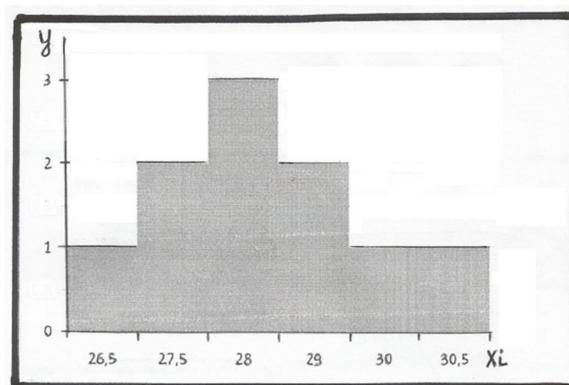


Рисунок 1 – Гистограмма частот выборки 1 (Монолит РЦ)

Аналогичны гистограммы для выборок электродов других марок.

2. Статистические характеристики для АНО – 21.

Размах выборки: $R = S_{max} - S_{min} = 26,5 - 21 = 5,5$ мм.

Среднеарифметическое: $\bar{X} = 23,88$ мм.

Медиана выборки равна 24 мм.

Мода выборки равна 23 мм.

Среднеквадратическое отклонение $S_x = 1,67$ мм.

Оценим границы доверительного интервала для S_x : ($n = 9$, задаем $\alpha = 0,95$), по таблице [19] находим величины $\gamma_1 = 0,68$; $\gamma_2 = 1,9$; $S_{min} = 1,67 \times 0,68 = 1,14$ мм; $S_{max} = 1,67 \times 1,9 = 3,17$ мм;

С вероятностью 0,95 S_x может находиться в промежутке от 1,14 мм до 3,17 мм.

Коэффициент вариации: $V_x = [S_x / \bar{X}] 100\% = 6,99\%$.

Гистограмма частот выборки замеров обрывной длины дуги показывает, что распределение близко к нормальному.

3. Статистические характеристики для МР-3.

Размах выборки: $R = X_{max} - X_{min} = 32 - 21,5 = 10,5$ мм.

Среднеарифметическое значение: $\bar{X} = 26,39$ мм. Медиана выборки равна 27 мм, мода – 27 мм.

Среднеквадратическое отклонение:

$$S_x = 3,67 \text{ мм.}$$

Границы доверительного интервала для S_x ($n = 9$, задаем $\alpha = 0,95$), по таблице находим величины $\gamma_1 = 0,68$, $\gamma_2 = 1,9$, $S_{min} = 3,67 \times 0,68 = 2,49$ мм, $S_{max} = 3,67 \times 1,9 = 7,01$ мм.

С вероятностью 0,95 S_x находится в промежутке от 2,49 мм до 7,01 мм.

Коэффициент вариации: $V_x = [S_x / \bar{X}] 100\% = 13,9\%$.

Гистограмма частот выборки: распределение близко к нормальному.

Проведем сравнение двух средних нормальных генеральных совокупностей.

4. Выполним сравнение выборки 2 (АНО-21) и выборки 1 (Монолит РЦ). По двум независимым малым выборкам $n=9$ и $m=9$, извлеченным из генеральных совокупностей X и Y ; найдены выборочные средние $x_b = 23,88$, $y_b = 28,72$ и дисперсии $S_x^2 = 2,79$ и $S_y^2 = 2,07$.

Проверим гипотезу о том, что средние значения обеих серий замеров совпадают, т.е. в пределах точности различия нет. Поскольку дисперсии различны, то проверим предварительно гипотезу о равенстве генеральных дисперсий, используя критерий Фишера-Снедекора. Найдем отношение большей дисперсии к меньшей: $F_{набл} = 2,79/2,07 = 1,35$. По таблице критических точек распределения Фишера-Снедекора, по заданному уровню значимости $\alpha = 0,05$ и числам степеней свободы (9): $f_1 = 8$ и $f_2 = 8$ находим критическую точку $F_{кр}(0,05; 8; 8) = 3,18$. Так как $F_{набл} < F_{кр}$, то нет оснований отвергнуть гипотезу о равенстве генеральных дисперсий. Предположение о равенстве генеральных дисперсий выполняется, поэтому сравним средние.

Вычислим наблюдаемое значение критерия Стьюдента (10):

$$T_{набл} = \frac{x_b - y_b}{\sqrt{(n-1)S_x^2 + (m-1)S_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{n \cdot m(n+m-2)}{n+m}}, \quad (10)$$

Подставив числовые значения, получим:

$$T_{набл} = \frac{23,88 - 28,72}{\sqrt{(9-1) \cdot 2,79 + (9-1) \cdot 2,07}} \cdot \sqrt{\frac{9 \cdot 9(9+9-2)}{9+9}},$$

т.е. $T_{набл} = -6,58$.

Принимаем доверительную вероятность ($\alpha = 0,95$). По уровню значимости 0,05 и числу степеней свободы $f = 16$ находим по таблице критическую точку $t_{кр}(0,05; 16) = 2,12$. Так как $|T_{набл}| > t_{кр}$, то гипотеза о равенстве средних отбрасывается, т.е. результаты статистически значимы. Таким образом, средние выборок 1 и 2 различаются существенно, т.е. технико-эксплуатационные показатели электродов АНО-21 и Монолит РЦ различаются существенно.

5. Аналогичное сравнение выборок 2 (АНО-21) и 3 (МР-3), а также выборок 1 (Монолит РЦ) и 3 (МР-3) показывает, что результаты статистически значимы и средние значения сравниваемых выборок различаются существенно.

Статистическая обработка позволила:

- во-первых, оценить надежность распространения показателей электродов рассмотренной ограниченной выборки, на показатели характеристик всей генеральной совокупности применяемых электродов;

- во-вторых, позволила установить существенность различия показателей каждой из трех групп разных марок испытанных электродов для их последующего сопоставления и выбора марки электрода с оптимальным сочетанием наиболее весомых показателей.

Анализ результатов показал:

- По виду гистограмм все выборки распределены по нормальному закону.
- Средние выборочные различаются значимо и из трех рассматриваемых выборок возможно выбрать «лучшую».
- Среднеквадратические отклонения выборки 2 (АНО-21) и выборки 1 (Монолит РЦ) достаточно небольшие, что свидетельствует о небольшом разбросе значений выборок от средних выборочных.

- Электрод АНО-21 по технико-экономическим характеристикам показал самые низкие результаты: коэффициент потерь 12,88%, коэффициент наплавки 4,87 г/А·ч, обрывная длина дуги составила 23,89 мм, что статистически достоверно.
- Анализ результатов, полученных при сварке на экспериментальной установке и при сварке вручную, показал, что коэффициенты потерь, при короткой сварочной дуге в несколько раз меньше потерь, чем при длинной дуге.
- Из сопоставления устойчивости горения электродов, более устойчив в горении электрод Монолит РЦ с обрывной длиной дуги 28,72 мм и продолжительностью горения 78,1 с., он характеризуется и как наиболее производительный при сварке – с минимальным коэффициентом потерь 9,57% и максимальным коэффициентом наплавки, 5,54 г/А·ч.
- Электрод Монолит РЦ выигрывает меньшим коэффициентом потерь, устойчивостью горения дуги, что обеспечивает более высокую производительность работ, удобство выполнения сварки и более высокое качество сварного шва.
- Электрод МР-3 превосходит по коэффициенту наплавки электрод АНО-21, но проигрывает по коэффициенту потерь.

Выводы

1. Экспериментально на сварочной установке и сваркой вручную определены для электродов марок МР-3, АНО-21, Монолит РЦ, статистически значимые технико-эксплуатационные показатели: коэффициенты расплавления, наплавки, потерь, обрывная длина дуги и продолжительность ее горения до угасания, которые позволяют осуществить выбор наиболее экономичного электрода, снижающего расход сварочных материалов, электроэнергии при требуемой производительности сварочных работ и качестве сварного соединения.
2. Для практического применения при выполнении монтажных работ рекомендуется электрод марки Монолит РЦ с максимальным коэффициентом наплавки, равным 5,54г/А×ч, минимальным коэффициентом потерь электродного металла, составляющим 9,58% и наиболее устойчивым горением дуги, у которого наибольшая обрывная длина дуги 28,72 мм, что позволит минимизировать материально- энергетические потери при выполнении сварочно-монтажных работ.
3. Уточненные значения технико-эксплуатационных показателей испытанных электродов необходимы и как более надежные исходные данные для выполнения калькуляционных расчетов при планировании значительных объемов монтажных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горохов, В.А. Материалы и их технологии [Текст]: учебник для вузов / В.А. Горохов, Н.В. Беляков, А.Г. Схиртладзе. – Минск: ИНФРА, 2014. – Ч. 1. – 589 с.
2. Герасименко, А.И. Электрогазосварщик [Текст]: учебное пособие для профессионально-технических училищ / А.И. Герасименко. – Ростов н/Д.: Феникс, 2011. – 407 с.
3. Герасименко, А.И. Справочник электрогазосварщика [Текст] / А.И. Герасименко. – Ростов н/Д. – Феникс. – 412 с.
4. Диденко, В.Н. Долговечность узловых сопряжений сварных металлоконструкций в открытых установках энергетики [Текст] / В.Н. Диденко, Б.Л. Ошеров // Реконструкция промышленных зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1988. – С. 35-40.
5. Корохов, В.Г. Металловедение и сварка в строительном производстве [Текст]: учебное пособие для студентов вузов строительных специальностей / В.Г. Корохов, Н.Я. Бусарова. – Симферополь: НАПКС, 20014. – 341 с.
6. Рыбаков, В.М. Дуговая и газовая сварка [Текст] / В.М. Рыбаков. – Москва. – Машиностроение, 1996. – 399 с.
7. ГОСТ 9466-75. Техническая характеристика. Электроды АНО-21 [Текст], 1975.
8. ГОСТ 9466-75. Техническая характеристика. Электроды МР-3 [Текст], 1975.
9. ГОСТ 9466-75 Техническая характеристика. Электроды Монолит РЦ [Текст], 1975.
10. Ковалев, Н.А. Справочник сварщика [Текст] / Н.А. Ковалев. – Ростов н/Д.: Феникс, 2011. – 350 с.
11. Гурманов, В.Е. Теория вероятности и математическая статистика [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.Е. Гурманов. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.
12. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта [Текст] / Б.А. Доспехов. – М.: КОЛОС, 1968. – 336 с.

13. Вознесенский, В.Л. Первичная обработка экспериментальных данных [Текст] / В.Л. Вознесенский. – Ленинград: Наука, 1969. – 84 с.
14. Кассандрова, О.Н. Обработка результатов наблюдений [Текст] / О.Н. Кассандрова, В.В. Лебедев // Ленинград. – «Наука», 1970. – 109 с.
15. Макарова, Н.В. Статистика в Excel [Текст]: учеб. пособие / Н.В. Макарова, В.Я. Трофимец. – М.: – Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
16. Шебанин, В.С. Расчет вероятности отказа конструктивного элемента сборно-разборных легких металлических конструкций [Текст] / В.С. Шебанин, В.Г. Богза, С.И. Богданов // MOTROL. – Vol. 14. – №2. – С. 164-167.
17. Федин, А.П. Сварочное производство [Текст] / А.П. Федин. – Минск: Высшая школа, 1992. – 302 с.
18. Данко, П.Е. Высшая математика в упражнениях и задачах [Текст]: учебное пособие для студентов вузов / П.Е. Данко, А.Г. Попов, Т.Я. Кожевникова. – М.: Высшая школа, 1986. – 415 с.
19. Большев, Я.Н. Таблицы математической статистики [Текст] / Я.Н. Большев, Н.В. Смирнов. – Ленинград: Наука, 1965. – 106 с.
20. Емельянов, О.А. Техническая диагностика кранов мостового типа [Текст] / О.А. Емельянов, А.И. Дубовик. – Краматорск: ДГМА, 2001.

В.Г. Корохов

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, г. Симферополь
Кандидат технических наук, профессор
E-mail: vladlen.korokhov@mail.ru

И.В. Бурова

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, г. Симферополь
Преподаватель кафедры высшей математики
E-mail: ira.vasilevna.59@mail.ru

V. KOROHOV, I. BUROVA

REDUCTION OF MATERIAL AND ENERGY WELDING AND ASSEMBLY OF LOSS IN LIMITED EXPERIMENTAL SAMPLE

Consumption of welding electrodes, power and performance and installation works to a large extent determined by the technical and operational characteristics of the electrodes: the deposition rate, the loss resistance of the arc. The article presents the results of experimental research and statistical analysis with the specification of indicators most widely used brands of electrodes ELN-21 Monolith RC and MP-3. Significance of differences of sample averages of each of the groups tested brands of electrodes allowed them to identify the optimal combination of matching the most powerful technical and economic characteristics that minimize material and energy losses, increase the accuracy of calculations and the accuracy of the final results of the planned welding and assembly work to be performed by the electrodes of a certain brand, more appropriate for specific welding operations.

Keywords: *welding, the electrode, arc welding, loss of productivity, minimizing optimization, comparison of efficiency.*

BIBLIOGRAPHY

1. Gorohov, V.A. Materialy i ih tehnologii [Текст]: учебник длia вузов / V.A. Gorohov, N.V. Beljakov, A.G. Shirladze. – Minsk: INFRA, 2014. – Ch. 1. – 589 s.
2. Gerasimenko, A.I. Jelektrogazosvarshhik [Текст]: учебное пособие длia professional'no-tehnicheskikh uchilishh / A.I. Gerasimenko. – Rostov n/D.: Feniks, 2011. – 407 s.
3. Gerasimenko, A.I. Spravochnik jelektrogazosvarshhika [Текст] / A.I. Gerasimenko. – Rostov n/D. – Feniks. – 412 s.
4. Didenko, V.N. Dolgovechnost' uzlovyh soprjazhenij svarnyh metallokonstrukcij v otkrytyh ustanovkah jenergetiki [Текст] / V.N. Didenko, B.L. Osheroev // Rekonstrukcija promyshlennyh zdaniy i sooruzhenij. – M.: Strojizdat, 1988. – S. 35-40.

5. Korohov, V.G. Metallovedenie i svarka v stroitel'nom proizvodstve [Tekst]: uchebnoe posobie dlja studentov vuzov stroitel'nyh special'nostej / V.G. Korohov, N.Ja. Busarova. – Simferopol': NAPKS, 20014. – 341 s.
6. Rybakov, V.M. Dugovaja i gazovaja svarka [Tekst] / V.M. Rybakov. – Moskva. – Mashinostroenie, 1996. – 399 s.
7. GOST 9466-75. Tehniceskaja harakteristika. Jelektrody ANO-21 [Tekst], 1975.
8. GOST 9466-75. Tehniceskaja harakteristika. Jelektrody MR-3 [Tekst], 1975.
9. GOST 9466-75 Tehniceskaja harakteristika. Jelektrody Monolit RC [Tekst], 1975.
10. Kovalev, N.A. Spravochnik svarshhika [Tekst] / N.A. Kovalev. – Rostov n/D.: Feniks, 2011. – 350 s.
11. Gurmanov, V.E. Teorija verojatnosti i matematiceskaja statistika [Tekst]: uceb. posobie dlja vuzov / V.E. Gurmanov. – M.: Vyssh. shk., 2003. – 479 s.
12. Dosphehov, B.A. Metodika polevogo opyta [Tekst] / B.A. Dosphehov. – M.: KOLOS, 1968. – 336 s.
13. Voznesenskij, V.L. Pervichnaja obrabotka jeksperimental'nyh dannyh [Tekst] / V.L. Voznesenskij. – Leningrad: Nauka, 1969. – 84 s.
14. Kassandrova, O.N. Obrabotka rezul'tatov nabljudenij [Tekst] / O.N. Kassandrova, V.V. Lebedev // Leningrad. – «Nauka», 1970. – 109 s.
15. Makarova, N.V. Statistika v Excel [Tekst]: uceb. posobie / N.V. Makarova, V.Ja. Trofimec. – M.: – Finansy i statistika, 2002. – 368 s.
16. Shebanin, V.S. Raschet verojatnosti otkaza konstruktivnogo jelementa sborno-razbornyh legkih metallicheskih konstrukcij [Tekst] / V.S. Shebanin, V.G. Bogza, S.I. Bogdanov // MOTROL. – Vol. 14. – №2. – S. 164-167.
17. Fedin, A.P. Svarochnoe proizvodstvo [Tekst] / A.P. Fedin. – Minsk: Vysshaja shkola, 1992. – 302 s.
18. Danko, P.E. Vysshaja matematika v uprazhnenijah i zadachah [Tekst]: uchebnoe posobie dlja studentov vuzov / P.E. Danko, A.G. Popov, T.Ja. Kozhevnikova. – M.: Vysshaja shkola, 1986. – 415 s.
19. Bol'shev, Ja.N. Tablicy matematiceskoj statistiki [Tekst] / Ja.N. Bol'shev, N.V. Smirnov. – Leningrad: Nauka, 1965. – 106 s.
20. Emel'janov, O.A. Tehniceskaja diagnostika kranov mostovogo tipa [Tekst] / O.A. Emel'janov, A.I. Dubovik. – Kramatorsk: DGMA, 2001.

V. Korokhov

National academy of nature protection and resort construction, Simferopol

Candidate of Technical sciences, professor

E-mail: vladlen.korokhov@mail.ru

I. Burova

National academy of nature protection and resort construction, Simferopol

Lecturer of the department of higher mathematics

E-mail: ira.vasilevna.59@mail.ru

ЛАПТЕВ Г.А., ПОТАПОВ Ю.Б., ЕРОФЕЕВ В.Т.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОБЕТОНОВ

Данная работа посвящена разработке технологии изготовления металлобетонов. Разработана технология изготовления изделий из металлобетонов следующими методами: предварительное приготовление смеси с уплотнением на вибростенде, пролив пустот заполнителя с положением вибрации, приготовление смеси и ее формовки под давлением, пролив пустот заполнителя под давлением, изготовление изделий по каркасной технологии. Показано, что выбор технологического метода получения металлического композиционного материала определяется следующими факторами: видом исходных материалов матрицы и заполнителя, равномерностью их распределения в структуре, созданием прочной связи на границе раздела.

Ключевые слова: металлобетоны, композит, технологические факторы, технология изготовления, металлическое связующее.

Из различных строительных материалов наибольшее применение при возведении зданий и сооружений, строительстве мостов и дорог находят бетоны различных видов. Тем не менее, как у нас в стране, так и за рубежом процессы создания новых видов бетонов, интенсивно продолжаются. Это в первую очередь, относится к материалам повышенной прочности.

В данной работе рассматриваются бетоны на металлических связующих – металлобетоны. Благодаря использованию при их изготовлении металлических связующих и гранулированных заполнителей достигается существенное повышение прочности материалов. Металлобетоны превосходят цементные бетоны и полимербетоны также по стойкости в условиях воздействия повышенных температур, динамических нагрузок и т.д. При разработке технологии изготовления металлобетонов использованы базовые принципы создания бетонов и композиционных материалов на полимерных и битумных вяжущих веществах [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Согласно [7, 8, 9] при изготовлении металлобетонов необходимо учитывать различные технологические факторы, влияющие на их прочностные и другие показатели: температура расплава, заполнителя и формы; правильность выбора литниковой системы; влияние вибрации, давления, вакуумирования и химической обработки заполнителя; влияние режима охлаждения, газо-воздушной среды; температуры воздуха; влияние холодильников; и прибылей для создания условий направленной кристаллизации металлов (рис. 1).



Рисунок 1 – Технологические факторы, влияющие на прочностные и другие показатели металлобетонов

Важнейшей стадией технологии изготовления металлобетонов является объединение металлического связующего с заполнителем. При разработке технологии изготовления метал-

лобетона нами были опробованы следующие способы: методом предварительного приготовления смеси металл – заполнитель с уплотнением на вибростенде; путем пролива заполнителя расплавом металла с использованием вибрации; путем формовки приготовленной смеси под давлением; путем пролива заполнителя под давлением; по каркасной технологии (рис. 1). Данные технологии ниже приведены в схематичном виде (рис. 2).

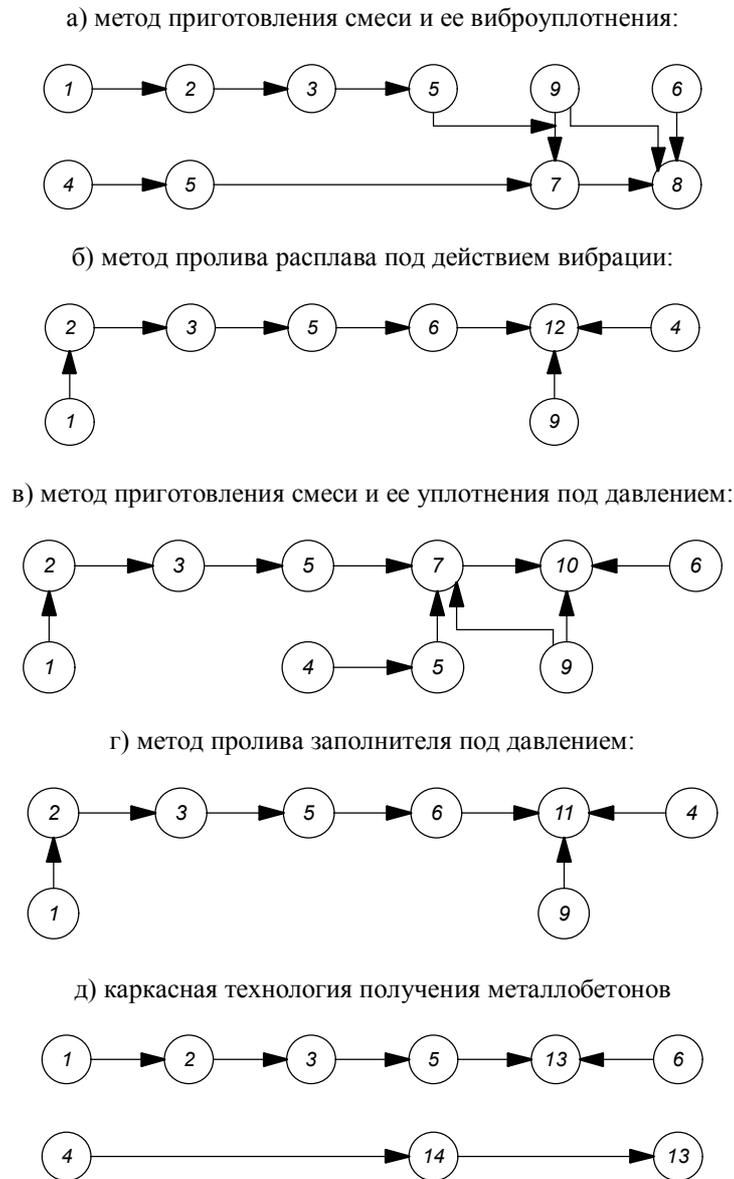


Рисунок 2 – Технологические схемы изготовления изделий из металлобетона:

- 1 – подбор заполнителя по фракциям; 2 – мойка и обработка заполнителя;
- 3 – сушка заполнителя; 4 – плавка металла; 5 – дозирование компонентов;
- 6 – нагрев форм; 7 – приготовление метона; 8 – виброуплотнение смеси;
- 9 – защитная среда; 10 – уплотнение смеси под давлением; 11 – пролив под давлением;
- 12 – пролив под действием вибрации; 13 – склеивание каркаса;
- 14 – модифицирование металла

Для ориентировочного подбора заполнителей возможно использование таблиц расчетных теоретических составов минеральных смесей с прерывистой гранулометрией.

Важной стадией технологического процесса при изготовлении изделий из метона является мойка, так как степень чистоты контактных поверхностей в числе других факторов определяет качество, а иногда и возможность соединения компонентов. Исследования показали, что для этого пригодны различные моющие растворы: каустическая сода, силикат натрия, тринатрий фосфат, кальцинированная сода и др. [10]. При этом особенно эффективны сили-

катные моющие растворы, так как в результате их гидролиза образуется кремневая кислота, коллоидное состояние которой удерживает смытые с поверхности заполнителя мелкие диспергированные частицы загрязнений во взвешенном состоянии без повторного осаждения. Кроме того, из литературы также известно, что присутствие силиката предотвращает разъедание поверхности из алюминия, меди и стали. Нейтральными моющими растворами являются растворы синтетических мыл. Вследствие более высокой стоимости такие растворы могут иметь более ограниченное применение. Чаще синтетические мыла используют в качестве активных добавок к щелочным растворам. Содержание их в растворе при очистке погружением составляет 5-10%, а при струйной очистке от 0,25 до 2,0%. Кислотные моющие растворы применяют также для очистки поверхностей заполнителя нещелочной основы (базальт, диабаз, кварцит, гранит и т.д.). Применяют также растворы фосфорной кислоты с добавками поверхностно-активных веществ. При мойке заполнителя в воде или растворителях растворяется определенное количество моющего средства (1-3% от массы заполнителя), и в полученный раствор засыпается заполнитель. После 5-10 минутной мойки заполнитель высушивается. Все названные методы очистки можно использовать в сочетании с механической и ультразвуковой обработкой.

После очистки заполнитель следует подвергать обработке химическими веществами неорганического и органического происхождения. Она преследует цель получения на поверхности заполнителя тончайшего налета легкоплавких веществ, таких как едкий натр, гидрохинон и малеиновый ангидрид с температурой плавления соответственно 320°C, 170°C и 53°C. Они служат в качестве промежуточной плёнки между расплавом металла и заполнителем, тем самым улучшая сцепление их между собой и влияющей на структуру металла матрицы [11].

После мойки и обработки заполнитель сушат. Полное удаление воды происходит при нагреве заполнителя перед заливкой.

Плавку металла матрицы следует производить под слоем флюса состава: 50% NaCl и 50% KCl. Наряду с выше приведенным составом флюса можно применять также следующий состав: 50% NaCl, 35% KCl и 15% NaAlF₆. Для измельчения зерна и получения более плотных отливок силумины рекомендуется модифицировать. В качестве модификаторов возможно применение чистого натрия и его солей: 33% NaCl и 67% NaF или 62,5% NaCl, 25% NaF и 12,5% KCl в количестве 0,05-0,5% от массы расплава. Перед заливкой алюминиевые сплавы рафинируют (очищают путем замешивания указанных флюсов). При этом образуется газообразный треххлористый алюминий (AlCl₃), который, выходя из расплава, увлекает за собой другие газы и неметаллические примеси [12].

Одним из главных факторов является тепловое состояние металла и заполнителя от начала изготовления до освобождения изделия из формы. В этом промежутке времени формируются структура изделия, конфигурация и размеры, образуются усадочные дефекты и остаточные напряжения. Определение оптимальных тепловых условий формирования и охлаждения отливки является важным при разработке технологии производства метона. Имеющиеся в литературе расчетные формулы, которые дают возможность при разработке литья рассчитать параметры технологического процесса, не пригодны для применения при изготовлении изделий из метонов, в этой связи оптимальные режимы были найдены опытным путем. Оптимальные тепловые условия зависят от габаритов изделия, фракционного состава заполнителя, его количества, от температуры нагрева заполнителя и формы, от выбранной технологической схемы [12]. В жидко-твердом состоянии расплав становится нечувствительным к посторонним примесям (заполнителю) и использует примеси для построения искаженного кристалла. Этот процесс называется кристаллизационной адгезией. В этом случае, в результате смачивания между матрицей и заполнителем возникает контакт – необходимое условие для развития химического взаимодействия. Одновременно со смачиванием происходит растворение частиц заполнителя в расплаве матрицы, и состав зоны сплавления меняется, пока не достигнет равновесной концентрации, соответствующей пересечению изотермы температуры процесса с линией ликвидуса. Если при этом начать принудительно замешивать заполнитель в жидко-твердой матрице металла, то равновесное состояние твердой фазы металла в зоне контакта до-

стигается за счет насыщения расплавом диффузионной зоны и кристаллизации выделяющегося из расплава твердого раствора. Процесс этот будет протекать до тех пор, пока не израсходуется жидкая фаза расплава и не достигается полная кристаллизация. Равновесное состояние в этом процессе также не достигается.

Методом замеса предпочтительнее получать мелкозернистый металлобетон, наполненный мелкими частицами выбранных горных пород (базальт, диабаз, габбро, керамика и т.д.).

Формование металлокаменной массы, находящейся в жидко-твердом состоянии осуществляется под действием вибрации или с применением избыточного давления до получения изделий необходимой формы.

При изготовлении изделий методом предварительного приготовления смеси и виброуплотнения (рис. 2, а) выполняются следующие операции: предварительно обработанный заполнитель засыпаются в специальный тигель с расплавом и компоненты перемешиваются до получения однородной, жидко-твердой металлокаменной массы в среде инертного газа (аргона), после чего она загружается в нагретую до 400-500°C форму при включенном вибраторе, который отключался после кристаллизации смеси. Температура расплава зависит от вида металла. Для сплава АЛ2 интервал кристаллизации, когда он находился в жидко-твердом состоянии, составляет десятки градусов. При использовании в качестве матрицы других металлов интервал кристаллизации можно найти по диаграмме состояния.

При изготовлении образцов методом пролива (рис. 2, б), выполняются следующие операции: предварительно отобранный по фракциям, обработанный заполнитель засыпается в форму, которая закрепляется на вибростенде, нагревается электрическим обогревателем до необходимой температуры. После этого, для лучшего проникновения расплава в пустоты между гранулами заполнителя и повышения плотности матрицы, заливка производится при включенном вибраторе, действие которого не прекращается до полной кристаллизации изделия. Система контроля за температурой может осуществляться с помощью термопары ХК и потенциометра ЭПП-09.

При изготовлении образцов путем формовки приготовленной смеси под давлением, смесь уплотняется после проведения предыдущих операций на машине литья под давлением (рис. 2, в).

При изготовлении образцов путем пролива заполнителя под давлением металл нагнетается в пустоты между гранулами заполнителя под действием избыточного давления (рис. 2, г). В этом случае форма заполняется гранулами заполнителя и закрывается. Затем в цилиндр литьевой машины заливается расплав и движущийся с ускорением поршень, воздействуя на него, нагнетает металл в поровое пространство между гранулами заполнителя. После выдерживания и кристаллизации расплава металлобетонное изделие извлекается из формы.

Следует отметить, что методом литья под давлением можно заполнить пустоты между гранулами заполнителя средних и больших размеров (более 2,5 мм). Для пропитки пор, созданных мелкозернистыми заполнителями требуются: высокое давление; повышенная температура нагрева расплава, формы и заполнителя; химическая обработка поверхности заполнителя веществами, снижающими поверхностное натяжение расплава на границе «металл-заполнитель» и увеличивающими смачивание. Основным преимуществом литья под давлением является возможность получения практически беспористого металлобетона.

После заливки образцы выдерживают в формах для охлаждения до температуры, при которой они могут быть извлечены из форм. Время выдержки образцов в формах зависит от их конфигурации, вида и крупности заполнителя, от применяемого для обработки химического вещества и природы сплава. Установлено, что изделия из метона необходимо выдерживать в формах после заливки до температуры 150°C. В этот период вещества, применяемые для обработки заполнителя (особенно хлориды), при соприкосновении с металлической матрицей диссоциируют с выделением активного элемента, диффундирующего в металл, что приводит к изменению свойств матрицы и метона в целом. При слишком раннем извлечении из формы образцы не обладают надлежащей прочностью и легко ломаются. Кроме этого, подвергаясь резкому охлаждению на воздухе, приобретают высокие температурные напряжения вслед-

ствие неравномерного охлаждения в толстых и тонких сечениях. Эти напряжения приводят к короблению отливок или образованию трещин. Для уменьшения этих напряжений образцы следует извлекать из формы после полного остывания. Однако возникновение внутренних напряжений в период охлаждения в форме неизбежно.

Для изготовления изделий методом пропитки с применением ультразвуковых колебаний нами использовался ультразвуковой генератор УЗГ-2,5. Применение ультразвука улучшает смачивание заполнителя расплавом и способствует равномерному распределению дискретных заполнителей. Влияние ультразвука на процесс пропитки основано на действии переменных давлений, которые проявляются непосредственно, а также через вторичные эффекты – кавитацию (создание микроскопических высоких давлений при схлопывании пузырьков газов). В результате этих явлений скорость и глубина проникновения металла в поры между гранулами заполнителя увеличивается. Применение ультразвука позволяет пропитывать поры между гранулами заполнителя диаметром от 0,25 до 3,5 мм. Кроме того, ультразвук измельчает кристаллы расплава матрицы и делает ее более прочной. При изготовлении металлобетонных плит размером 500×500×30 мм мощность ультразвукового генератора оказалась недостаточной.

При изготовлении образцов методом пропитки с помощью вакуумирования возникло несколько технологических трудностей, связанных с герметизацией форм, нагретых до 400–500°C из-за их коробления. Из-за сложной технологии эти два способа были отклонены и в дальнейшем не использовались.

Технология изготовления каркасных металлобетонов (рис. 2, б) заключается на первом этапе в формировании каркаса по форме будущего изделия путем склеивания друг с другом зерен заполнителя и на втором этапе – в пропитке пустот каркаса расплавом металла [6]. Важнейшими характеристиками которые необходимо учитывать при изготовлении каркасных металлобетонов являются: оптимальное соотношение связующего и заполнителя; режимы уплотнения и отверждения каркаса; реологические параметры расплавов матрицы; режимы пропитки каркаса. В каркасе для каждой пары «связующее-заполнитель» должно соблюдаться их оптимальное соотношение. Кроме того, для склеивания каркаса необходимы клеи, выдерживающие температуру расплава металлов. В этом случае предпочтительно использование жидкого стекла. Для обеспечения твердения жидкого стекла без его высушивания необходимо вводить отвердители. Таким, в основном, является кремнефтористый натрий. Кроме того, для отверждения жидкого стекла в него необходимо вводить такие высокоактивные добавки, как известь, портландцемент, оксид магния, свинцовый сурик. Эти вещества, введенные в раствор жидкого стекла в количестве 10 мас. ч. обеспечивают переход жидкого стекла в твердое нерастворимое состояние. Качество клеевого состава и его прочностные характеристики повышаются при термообработке. Ускоренное отверждение каркаса на данном связующем достигается путем его обдувания углекислым газом. Расход связующего в каркасе определяется его реологическими характеристиками, а также поверхностной пористостью заполнителей. Приготовленная каркасная смесь укладывается в формы, обработанные расплавленным парафином. Затем уложенную смесь уплотняют вибрированием на вибростоле с частотой 550 кол/мин и амплитудой 0,4 мм. Продолжительность воздействия вибрации составила 8-10 сек. Отверждение жидкостеклового клея может осуществляться в нормальных температурно-влажностных условиях или путем продува каркаса углекислым газом в течение 5-10 сек. Окончательное твердение клея происходит при нагреве формы до 500°C перед заливкой металла. В этом случае клей приобретает высокую водостойкость и нерастворимость. Нагрев форм перед заливкой расплава металлов производили: для свинцовых расплавов до 250°C; для алюминиевых расплавов рекомендуется до 500°C; для чугуновых расплавов до 600-650°C. Заключительной операцией при изготовлении каркасных металлобетонов является заливка расплава металлов в пустоты предварительно изготовленного и нагретого каркаса с фиксированным расположением крупного заполнителя.

Выводы

1. Показано, что выбор технологического метода получения металлического композиционного материала определяется следующими факторами: видом исходных материалов мат-

рицы и заполнителя, равномерностью их распределения в структуре, созданием прочной связи на границе раздела.

2. Разработана технология изготовления изделий из металлобетонов следующими методами: предварительное приготовление смеси с уплотнением на вибростенде, пролив пустот заполнителя с положением вибрации, приготовление смеси и ее формовки под давлением, пролив пустот заполнителя под давлением, изготовление изделий по каркасной технологии.

3. Установлено, что применение заполнителем ортофосфорной и борной кислотами способствует повышению коррозионной и эксплуатационной стойкости, а также прочности металлобетонных изделий. Применение гидроксидов, моющих средств и галогенов нежелательно, так как они вызывают коррозию матрицы на контакте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов, Ю.М. Технология бетона [Текст] / Ю.М. Баженов. – М.: АСВ, 2002. – 500 с.
2. Армополимербетон в транспортном строительстве [Текст]: под. ред. В.И. Соломатова. – М.: Транспорт. – 1979. – 232 с.
3. Баженов, Ю.М. Бетонополимеры [Текст] / Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат. – 1983. – 472 с.
4. Рыбьев, И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ [Текст]: учеб. пособие для вузов / И.А. Рыбьев. – М.: Высшая школа, 1978. – 309 с.
5. Королев, Е.В. Строительные материалы на основе серы [Текст] / Е.В. Королев, А.П. Прошин, В.Т. Ерофеев и др. – Пенза-Саранск: Изд-во Мордов. университета, 2003. – 372 с.
6. Ерофеев, В.Т. Фурфуролацетовые композиты каркасной структуры [Текст] / В.Т. Ерофеев, Д.А. Твердохлебов, К.В. Тармосин и др. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2008, – 220 с.
7. Соломатов, В.И. Метон – новый конструкционный материал [Текст] / В.И. Соломатов, Ю.Б. Потапов // Строительные материалы. – 1978. – №3. – С.11.
8. Соломатов, В.И. Метон – новый строительный материал [Текст] / В.И. Соломатов, Ю.Б. Потапов, Г.А. Лаптев и др. // Строительные материалы и конструкции. – 1980. – №2. – С.17.
9. Лаптев, Г.А. Получение и исследование бетонов на металлических связующих [Текст]: Автореф. Диссертации кандидата техн. наук. – Харьков, 1984. – 14 с.
10. А.С. 561 713. СССР, МКИ С0413 29/00. Способ изготовления металлобетонных изделий [Текст] / В.И. Соломатов, Ю.Б. Потапов, Г.А. Лаптев, А.И. Белозеров (СССР). – Оpubл. 15.06.77, Бюл. №22. – 2 с.
11. А.С. 657 002. СССР, МКИ С0413 29/04. Металлобетонная смесь [Текст] / В.И. Соломатов, Ю.Б. Потапов, Г.А. Лаптев, В.П. Селяев, Е.П. Романов (СССР). – Оpubл. 15.07.79, Бюл. №14. – 2 с.
12. Сосненко, М.Н. Общая технология литейного производства [Текст] / М.Н. Сосненко, Б.К. Святкин. – М.: Высш.шк., 1975. – 376 с.

Г.А. Лаптев

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги и специальные инженерные сооружения»

Ю.Б. Потапов

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск

В.Т. Ерофеев

Мордовский государственный университет, г. Саранск

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии»

Тел.: +7 (8342) 48-25-64

E-mail: bogatovad@mail.ru

G. LAPTEV, Yu. POTAPOV, V. EROFEEV

DEVELOPMENT OF MANUFACTURING TECHNOLOGY METALLOCONCRETS

This work is devoted to the development of technology metalloconcretes. The technology for manufacture of products from metalloconcretes the following methods: preliminary preparation of a mixture with the seal on a shaker, Strait void filler with vibration, cooking mixture and molding under

pressure, Strait void filler under pressure, the manufacturing of products on frame technology. It is shown that the choice of technological method of producing metal composite material is determined by the following factors: the type of the source materials of the matrix and filler, the uniformity of their distribution in the structure, creating a strong link on the interface.

Keywords: *metalloconcrets, composite, technological factors, manufacturing technology, metal binder.*

BIBLIOGRAPHY

1. Bazhenov, Ju.M. Tehnologija betona [Tekst] / Ju.M. Bazhenov. – M.: ASV, 2002. – 500 s.
2. Armopolimerbeton v transportnom stroitel'stve [Tekst]: pod. red. V.I. Solomatova. – M.: Transport. – 1979. – 232 s.
3. Bazhenov, Ju.M. Betonopolimery [Tekst] / Ju.M. Bazhenov. – M.: Strojizdat. – 1983. – 472 s.
4. Ryb'ev, I.A. Stroitel'nye materialy na osnove vjazhushhikh veshhestv [Tekst]: ucheb. posobie dlja vuzov / I.A. Ryb'ev. – M.: Vysshaja shkola, 1978. – 309 s.
5. Korolev, E.V. Stroitel'nye materialy na osnove sery [Tekst] / E.V. Korolev, A.P. Proshin, V.T. Erofeev i dr. – Penza-Saransk: Izd-vo Mordov. universiteta, 2003. – 372 s.
6. Erofeev, V.T. Furfurolacetovye kompozity karkasnoj struktury [Tekst] / V.T. Erofeev, D.A. Tverdohlebov, K.V. Tarmosin i dr – Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2008, – 220 s.
7. Solomatov, V.I. Meton – novyj konstrukcionnyj material [Tekst] / V.I. Solomatov, Ju.B. Potapov // Stroitel'nye materialy. – 1978. – №3. – S.11.
8. Solomatov, V.I. Meton – novyj stroitel'nyj material [Tekst] / V.I. Solomatov, Ju.B. Potapov, G.A. Laptev i dr. // Stroitel'nye materialy i konstrukcii. – 1980. – №2. – S.17.
9. Laptev, G.A. Poluchenie i issledovanie betonov na metallicheskih svjazujushhikh [Tekst]: Avtoref. Dissertacii kandidata tehn. nauk. – Har'kov, 1984. – 14 s.
10. A.S. 561 713. SSSR, MKI S0413 29/00. Sposob izgotovlenija metallobetonnyh izdelij [Tekst] / V.I. Solomatov, Ju.B. Potapov, G.A. Laptev, A.I. Belozerov (SSSR). – Opubl. 15.06.77, Bjul. №22. – 2 s.
11. A.S. 657 002. SSSR, MKI S0413 29/04. Metallobetonnaja smes' [Tekst] / V.I. Solomatov, Ju.B. Potapov, G.A. Laptev, V.P. Seljaev, E.P. Romanov (SSSR). – Opubl. 15.07.79, Bjul. №14. – 2 s.
12. Sosnenko, M.N. Obshhaja tehnologija litejnogo proizvodstva [Tekst] / M.N. Sosnenko, B.K. Svjatkin. – M.: Vyssh.shk., 1975. – 376 s.

G. Laptev

Mordovian state university named after N.P. Ogarev, Saransk

Candidate of technical Sciences, docent of the department «Highways and special engineering structures»

Yu. Potapov

Mordovian state university named after N.P. Ogarev, Saransk

V. Erofeev

Mordovian state university named after N.P. Ogarev, Saransk

Doctor of technical sciences, professor, head of the department «Building materials and technologies»

Ph.: +7 (8342) 48-25-64

E-mail: bogatovad@mail.ru

ЛУКУТЦОВА Н.П., КУЛЕШ И.А., АНТОНЕНКОВА О.Е., ПЫКИН А.А.,
УСТИНОВ А.Г., МАЦАЕНКО А.А., СУГЛОБОВ А.В.

КИНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ АГРЕГАТИВНО-СЕДИМЕНТАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ДОБАВОК К БЕТОНУ И РАСТВОРУ, ПОЛУЧЕННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ВОДНОЙ СРЕДЕ*

Разработаны математические модели кинетики седиментации, осложненной коагуляцией в высокодисперсных системах с водной дисперсионной средой в отсутствие стабилизатора, характеризующихся изначальной монодисперсностью, либо бидисперсностью, которые позволяют оценивать агрегативно-седиментационную устойчивость указанных систем, рассчитывать накопление осадка в зависимости от времени, если известен фракционный состав дисперсной фазы. На основании теоретической модели показано удовлетворительное соответствие между экспериментальными значениями величины накопления массы осадка и результатами расчетов.

Ключевые слова: кинетические модели, агрегативно-седиментационная устойчивость, монодисперсность, бидисперсность, дисперсная фаза, накопление осадка.

Высокие физико-технические характеристики композиционных строительных материалов могут быть достигнуты за счет применения нанодисперсных добавок на основе углеродистых, кремнеземсодержащих и иных компонентов, являющихся модификаторами структуры и свойств бетонов [1, 2]. Проведенные исследования показали, что наиболее эффективным методом равномерного распределения малых количеств (доли процента) нанодобавок в объеме растворных или бетонных смесей является использование водных суспензий или гидрозолей, вводимых вместе с водой затворения [3], причем повышение степени дисперсности добавок существенно улучшает физико-технические показатели исследованных образцов. В связи с этим чрезвычайно актуальными являются исследования, направленные на увеличение агрегативной устойчивости гидрозолей указанных добавок при получении и хранении, а также агломерации в промежутках между более крупными структурными элементами композита.

В работе [4] предложена модель гравитационной седиментации бидисперсной суспензии в условиях взаимной агрегации частиц различных фракций. Модель учитывает слипание между собой исключительно частиц мелкой и крупной фракций, игнорируя очевидную возможность коагуляции частиц близкого размера в пределах одной фракции. Работа не содержит экспериментального обоснования теоретических выкладок.

В процессе проведения исследований по созданию высокопрочных быстротвердеющих мелкозернистых бетонов путем модификации их структуры нанодисперсными добавками, получаемыми ультразвуковым диспергированием минеральных материалов в водной среде, нами были получены данные, позволившие предложить математическую модель кинетики седиментации, осложненной коагуляцией частиц.

Данная работа посвящена изучению агрегативно-седиментационной устойчивости высокодисперсных систем на основе шунгита, полученных дроблением при помощи ультразвука в водной среде в отсутствие стабилизатора.

Цель работы заключается в создании исходной кинетической модели для последующей сравнительной оценки эффективности влияния различных стабилизаторов на агрегативную устойчивость в водной среде высокодисперсных добавок на основе минеральных компонентов.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №13-03-97511-р_центр_a).

Методика эксперимента

В качестве объекта исследования использовалась высокодисперсная система на основе природного шунгита, полученная ультразвуковым диспергированием минерала в воде в отсутствие стабилизатора. Предварительно измельченная навеска шунгита подвергалась ультразвуковому воздействию при частоте 35 кГц и при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 15 минут с применением импульсного активатора ванного типа ПСБ-4035-04.

Характеристики полученной дисперсии представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики дисперсии шунгита в воде

Средний эффективный диаметр частиц d_0 , м	Концентрация дисперсной фазы C_0 , кг/м ³	Плотность шунгита ρ , кг/м ³	Вязкость среды η при 20 ⁰ С, Н·с/м ²	Начальная счетная концентрация частиц шунгита n_0 , 1/м ³
$1,1383 \cdot 10^{-6}$	0,3059	$2,03 \cdot 10^3$	$1,002 \cdot 10^{-3}$	$1,952 \cdot 10^{14}$

Средний эффективный диаметр частиц дисперсной фазы определяли с применением лазерного анализатора ZetaPlus с многоугловой системой 90Plus/Bi-MAS.

Для экспериментального обоснования предложенной нами математической модели кинетики седиментации, осложненной агрегацией частиц дисперсной фазы, измеряли массу выпавшего осадка в зависимости от времени с применением торсионных весов ВТ-500. Измерения массы проводили в соответствии с известной методикой дисперсионного анализа путем седиментации в гравитационном поле, описанной во многих источниках, например, [5], при соблюдении всех условий выполнимости закона Стокса.

Среднюю скорость седиментации за рассматриваемый промежуток времени оценивали визуально по смещению границы раздела между осветленной жидкостью и мутью в цилиндрическом сосуде, аналогичном использованному в опыте по седиментации в гравитационном поле.

Для обеспечения сопоставимости результатов исследуемую дисперсию шунгита разделили на три части, проведя параллельно определение среднего эффективного диаметра частиц дисперсной фазы и исследования по накоплению осадка и установлению средней скорости седиментации.

Результаты и их обсуждение

Исследования при помощи лазерного анализатора показали, что полученные в отсутствие стабилизатора дисперсии шунгита в воде оказались первоначально близкими к монодисперсным, либо представляли собой бидисперсные системы с подавляющим преобладанием одной из фракций. Характерное распределение частиц по размерам представлено на рисунке 1.

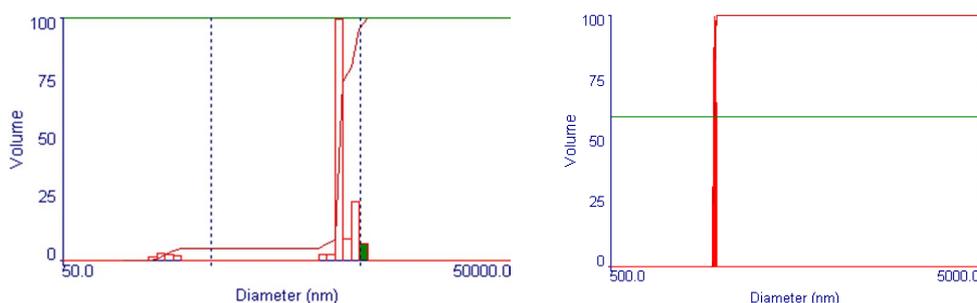


Рисунок 1 – Распределение частиц шунгита по размерам в водной среде, не содержащей стабилизатор

В основу математической модели положены некоторые допущения.

- седиментация происходит в условиях, при которых соблюдается закон Стокса, следовательно, в стационарном режиме скорость оседания частиц постоянна и определяется их размером.
- за размер частиц данной фракции принимается средний диаметр частиц.
- частицы имеют сферическую форму. В случае иной формы частиц рассматривается их эффективный диаметр, то есть диаметр сферической частицы, имеющей ту же массу и скорость движения как у реальной частицы.

- седиментации частиц размером менее 10^{-6} м препятствуют диффузия и броуновское движение, поэтому оседают под действием силы тяжести в основном более крупные частицы.

- кинетика коагуляции соответствует теории быстрой коагуляции Смолуховского, в соответствии с которой каждое столкновение является эффективным и приводит к слипанию частиц. Быстрая коагуляция характерна, прежде всего, для дисперсий, не содержащих стабилизаторы.

В соответствии с теорией Смолуховского [6] при быстрой коагуляции частиц в первоначально монодисперсной системе суммарное число частиц n_{Σ} в единице объема системы (счетная концентрация) уменьшается за счет коагуляции в соответствии с формулой:

$$n_{\Sigma} = \frac{n_0}{1 + Kn_0 t}, \quad (1)$$

где n_0 – начальная счетная концентрация частиц шунгита, $1/\text{м}^3$; t – время, с; K – константа скорости коагуляции, $\text{м}^3/\text{с}$.

В соответствии с теорией Смолуховского константа скорости коагуляции не зависит от начальной концентрации и размера частиц и может быть рассчитана по формуле:

$$K = \frac{4RT}{3\eta N_A} = 5,4 \cdot 10^{-18} \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2)$$

В условиях выполнения закона Стокса частицы дисперсной фазы оседают с постоянными скоростями, зависящими от их размера. Однако далее, для простоты, будет использоваться в расчетах величина средней скорости оседания частиц дисперсной фазы $W_{\text{ср.}}$, которую оценивали по смещению границы раздела между осветленной жидкостью и мутью в цилиндрическом сосуде.

При седиментации через поперечное сечение возникает поток частиц дисперсной фазы. На основании определения понятия потока величины через площадку ds можно записать для потока частиц:

$$q_n(t) = W_{\text{ср.}} \int_S \int_0^t n_{\Sigma} dt ds = W_{\text{ср.}} \cdot S \int_0^t \frac{n_0}{1 + Kn_0 t} dt = \frac{W_{\text{ср.}} \cdot S}{K} \ln(1 + Kn_0 t). \quad (3)$$

Тогда величина накопления частиц осадка $Q_n^{\text{теор.}}$, отнесенная к единице площади поверхности, может быть вычислена по формуле:

$$Q_n^{\text{теор.}}(t) = \frac{W_{\text{ср.}}}{K} \ln(1 + Kn_0 t). \quad (4)$$

Величина накопления массы осадка $Q_m^{\text{теор.}}$, отнесенная к единице площади поверхности, рассчитывается по аналогичной формуле:

$$Q_m^{\text{теор.}}(t) = \frac{W_{\text{ср.}}}{K'} \ln(1 + K' C_0 t), \quad (5)$$

где C_0 – исходная концентрация дисперсной фазы, $\text{кг}/\text{м}^3$; K' – константа, $\frac{\text{м}^3}{\text{с} \cdot \text{кг}}$.

$$K' = \frac{K \cdot N_A}{M_{\text{ч}}} = \frac{K}{m_{\text{ч}}} = \frac{K}{4/3\pi r_0^3 \rho} = 0,00345 \frac{\text{м}^3}{\text{с} \cdot \text{кг}}. \quad (6)$$

Полученные результаты представлены в таблице 2 и на рисунке 2.

Таблица 2 – Экспериментальные данные по накоплению осадка и результаты расчетов в соответствии с предлагаемой математической моделью

Время осаждения t , с	Результаты расчетов на основании теоретической модели		Средняя скорость оседания частиц дисперсной фазы $W_{\text{ср.}}$, м/с	Экспериментальная величина накопления массы осадка, отнесенная к единице площади поверхности $Q_m^{\text{эксп.}}$, $\text{кг}/\text{м}^2$
	Величина накопления частиц осадка, отнесенная к единице площади поверхности $Q_n^{\text{теор.}}$, $1/\text{м}^2$	Величина накопления массы осадка, отнесенная к единице площади поверхности $Q_m^{\text{теор.}}$, $\text{кг}/\text{м}^2$		
420	$6,79 \cdot 10^{12}$	0,0106	0,0001	0,0140
738	$1,07 \cdot 10^{13}$	0,0167		0,0210
1269	$1,57 \cdot 10^{13}$	0,0246		0,0280
2611	$2,45 \cdot 10^{13}$	0,0383		0,0350
4585	$3,27 \cdot 10^{13}$	0,0511		0,0420

Из анализа данных, представленных в таблице 2 и на рисунке 2, следует, что экспериментальные значения накопления массы осадка в водной дисперсии шунгита без стабилизатора удовлетворительно согласуются с предложенной нами математической моделью кинетики седиментации, осложненной коагуляцией частиц дисперсной фазы.

Среднеквадратичная относительная погрешность описания экспериментальных данных уравнением (5) составила не более 1%.

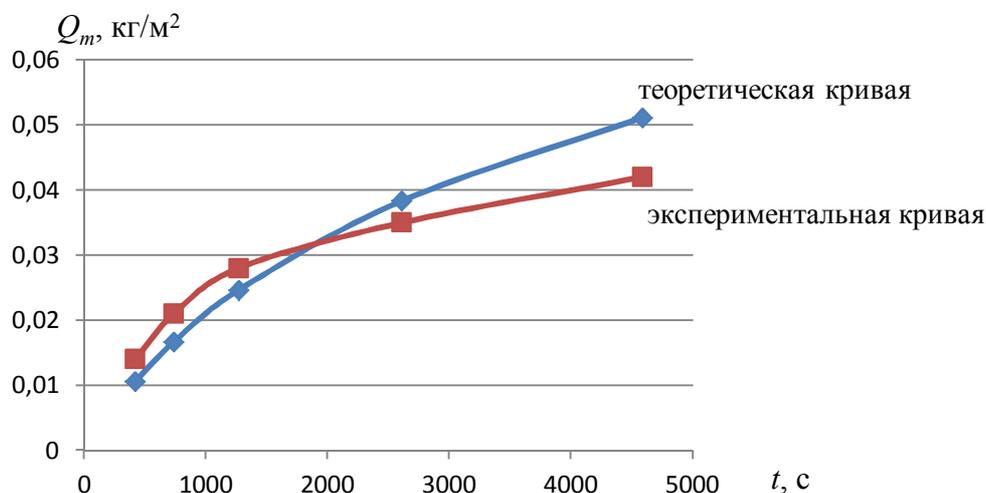
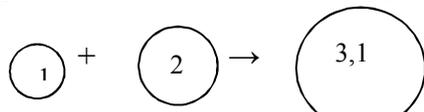


Рисунок 2 – Зависимость величины накопления массы осадка Q_m , кг/м², отнесенной к единице площади поверхности, от времени

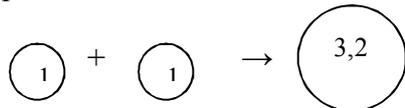
Нами также были теоретически рассмотрены коагуляционно-седиментационные процессы в бидисперсных системах.

Пусть образование агрегатов происходит за счет процессов трех типов, которые являются равновероятными:

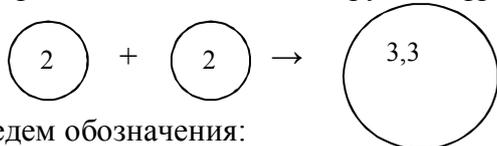
- 1) агрегация частиц мелкой и крупной фракции,



- 2) агрегация частиц только мелкой фракции.



- 3) агрегация частиц только крупной фракции.



Введем обозначения:

n – число частиц в единице объема системы (счетная концентрация), 1/м³;

k – константа скорости коагуляции, которая, как и в теории Смолуховского, не зависит от начальной концентрации и размера частиц, м³/с;

$n_{i,j}$ – число частиц определенного типа в единице объема системы, причем индекс i соответствует типу фракции, а индекс j соответствует типу процесса агрегации.

Пусть $n_1 = n_{1,1} + 2n_{1,2}$ и $n_2 = n_{2,1} + 2n_{2,3}$; $n_{\text{арг}} = n_{3,1} + n_{3,2} + n_{3,3}$, $n_1(0) = n_1^0$, $n_2(0) = n_2^0$, $n_{3,1}(0) = n_{3,2}(0) = n_{3,3}(0) = 0$. Тогда скорости уменьшения числа первичных частиц фракций 1 и 2, а также скорости образования агрегатов можно представить в виде системы дифференциальных уравнений (7):

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dn_{1,1}}{dt} &= -kn_{1,1}n_{2,1}, \\ \frac{dn_{2,1}}{dt} &= -kn_{1,1}n_{2,1}, \\ \frac{dn_{1,2}}{dt} &= -k(n_{1,2})^2, \\ \frac{dn_{2,3}}{dt} &= -k(n_{2,3})^2, \\ \frac{dn_{3,1}}{dt} &= kn_{1,1}n_{2,1}, \\ \frac{dn_{3,2}}{dt} &= k(n_{1,2})^2, \\ \frac{dn_{3,3}}{dt} &= k(n_{2,3})^2. \end{aligned} \right. \quad (7)$$

Учитывая, что $n_{\text{арп}} = n_{3,1} + n_{3,2} + n_{3,3}$, из системы уравнений (7) можно перейти к дифференциальному уравнению второго порядка:

$$\frac{d^2 n_{\text{арп}}}{dt^2} = -k(n_{2,1} + n_{1,1}) \frac{dn_{3,1}}{dt} - 2kn_{1,2} \frac{dn_{3,2}}{dt} - 2kn_{2,3} \frac{dn_{3,3}}{dt}, \quad (8)$$

его решением является выражение (9) для счетной концентрации агрегированных частиц:

$$n_{\text{арп}} = \frac{n_{1,1}(0)n_{2,1}(0)(1 - e^{(n_{1,1}(0) - n_{2,1}(0))kt})}{n_{2,1}(0) - n_{1,1}(0)e^{(n_{1,1}(0) - n_{2,1}(0))kt}} + \frac{kt(n_{1,2}(0))^2}{ktn_{1,2}(0)+1} + \frac{kt(n_{2,3}(0))^2}{ktn_{2,3}(0)+1}. \quad (9)$$

Будем считать, что для частиц фракции 1 равновероятны типы агрегации 1) и 2), а для частиц фракции 2 равновероятны типы агрегации 1) и 3). Тогда:

$$n_{1,1}(0) = n_{1,2}(0) = \frac{1}{3}n_1^0; \quad n_{2,1}(0) = n_{2,3}(0) = \frac{1}{3}n_2^0.$$

Следовательно,

$$n_{\text{арп}} = \frac{1}{3} \left(\frac{n_1^0 n_2^0 (1 - e^{\frac{1}{3}(n_1^0 - n_2^0)kt})}{n_2^0 - n_1^0 e^{\frac{1}{3}(n_1^0 - n_2^0)kt}} + \frac{kt(n_1^0)^2}{ktn_1^0+3} + \frac{kt(n_2^0)^2}{ktn_2^0+3} \right). \quad (10)$$

Пусть оседают в гравитационном поле только агрегированные частицы. Тогда накопление частиц осадка со временем, отнесенное к единице площади сечения, определяется в соответствии с выражением

$$Q_{\text{арп}}(t) = W \int_0^t n_{\text{арп}}(t) dt. \quad (11)$$

$$Q_{\text{арп}}(t) = W \left(\frac{1}{3} (2n_1^0 + n_2^0)t - \frac{1}{k} \ln \frac{(kn_1^0 t + 3)(kn_2^0 t + 3) \left(n_2^0 - n_1^0 e^{\frac{(n_1^0 - n_2^0)kt}{3}} \right)}{9(n_2^0 - n_1^0)} \right). \quad (12)$$

Итак, формула (12) может быть применена для математического описания кинетики седиментации, как следствия коагуляции в высокодисперсных системах, обладающих бидисперсностью.

Заключение

Таким образом, нами предложены математические модели кинетики седиментации, осложненной коагуляцией в высокодисперсных системах с водной дисперсионной средой в отсутствии стабилизатора, характеризующихся изначальной монодисперсностью, либо бидисперсностью.

Модели позволяют оценивать агрегативно-седиментационную устойчивость указанных систем, рассчитывать накопление осадка в зависимости от времени, если известен фракционный состав дисперсной фазы.

На примере высокодисперсной системы на основе природного шунгита, полученной ультразвуковым диспергированием минерала в воде в отсутствии стабилизатора было показано удовлетворительное соответствие между экспериментальными значениями величины накопления массы осадка и результатами расчетов на основании теоретической модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукутцова Н.П. Теоретические и технологические аспекты получения микро- и нанодисперсных добавок на основе шунгитосодержащих пород для бетона [Текст] / Н.П. Лукутцова, А.А. Пыкин. – Брянск: БГИТА, 2014. – 216 с.
2. Lukutsova N., Postnikova O., Gornostaeva E., Vasunina S., Suglobov A. Nano-disperse additive based on titanium dioxide // International Journal of Applied Engineering Research (IAER), 2014. – v. 9. – №22. – p. 16803-16811.
3. Лукутцова Н.П. Устойчивость нанодисперсных добавок на основе метакаолина [Текст] / Н.П. Лукутцова, А.А. Пыкин // Стекло и керамика. – 2014. – №11. – С. 7-11.
4. Тажибекова, Б.Т. Моделирование гравитационной седиментации бидисперсных суспензий в условиях взаимной агрегации частиц различных фракций. [Текст] / Б.Т. Тажибекова, Б.С. Шакиров, Б.Ч. Балабенов // Сборник ЮКГУ. – 2010. – №1. – С. 41-46.
5. Практикум и задачник по коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы [Текст]: учебное пособие для вузов / В.В. Назаров и [др.]; под ред. В.В. Назарова, А.С. Гродского. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 374 с.
6. Фридрихсберг, Д.А. Курс коллоидной химии [Текст]: учеб. для вузов / Д.А. Фридрихсберг. – 4-е изд., испр. и доп. – СПб.: Лань, 2010. – 411 с.

Н.П. Лукутцова

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Производство строительных конструкций»
Тел.: +7 915 801 44 19
E-mail: natluk58@mail.ru

И.А. Кудеш

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Химия»
Тел.: +7 905 1007746
E-mail: irina.kulesh@gmail.com

О.Е. Антоненкова

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика»
Тел.: +7 910 230 80 76
E-mail: antool@mail.ru

А.А. Пыкин

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Производство строительных конструкций»
Тел.: +7 919 295 74 01
E-mail: antool@mail.ru

А.Г. Устинов

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск
Аспирант

А.А. Мацаенко

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск
Магистрант

А.В. Суглобов

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск
Магистрант

N. LUKUTCOVA, I. CUDESH, O. ANTONENKOVA, A. PIKIN,
A. USTINOV, A. MATSAENKO, A. SUGLOBOV

**KINETIC MODELS FOR EVALUATING AGGREGATION-
SEDIMENTATION STABILITY OF FINELY CONCRETE AND MORTAR
ADMIXTURES OBTAINED BY ULTRASONIC DISPERSION
OF MINERAL COMPONENTS IN AQUEOUS MEDIUM**

The paper presents some developed mathematical models for the kinetics of sedimentation with coagulation in highly complicated systems with dispersion aqueous medium of initial monodisperse or bidisperse state without a stabilizer. The developed models allow evaluating aggregation and sedimentation stability of these systems, calculating the accumulation of sludge over time if the fractional composition of the disperse phase is known. The theoretical model shows that the results of calculation of sediment accumulation weight values correlate well with experimental values.

Keywords: kinetic models, aggregation and sedimentation stability, monodisperse state, bidisperse state, dispersed phase, accumulation of sediment.

BIBLIOGRAPHY

1. Lukutcova N.P. Teoreticheskie i tehnologicheskie aspekty poluchenija mikro- i nanodispersnyh dobavok na osnove shungitosoderzhashhih porod dlja betona [Tekst] / N.P. Lukutcova, A.A. Pykin. – Bryansk: BGITA, 2014. – 216 s.
2. Lukuttsova N., Postnikova O., Gornostaeva E., Vasunina S., Suglovov A. Nano-disperse additive based on titanium dioxide // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER), 2014. – v. 9. – №22. – p. 16803-16811.
3. Lukutcova N.P. Ustojchivost' nanodispersnyh dobavok na osnove metakaolina [Tekst] / N.P. Lukutcova, A.A. Pykin // Steklo i keramika. – 2014. – №11. – S. 7-11.
4. Tazhibekova, B.T. Modelirovanie gravitacionnoj sedimentacii bidispersnyh suspenzij v uslovijah vzaimnoj agregacii chastic razlichnyh frakcij. [Tekst] / B.T. Tazhibekova, B.S. Shakirov, B.Ch. Balabenov // Sbornik JuKGU. – 2010. – №1. – S. 41-46.
5. Praktikum i zadachnik po kolloidnoj himii. Poverhnostnye javlenija i dispersnye sistemy [Tekst]: uchebnoe posobie dlja vuzov / V.V. Nazarov i [dr.]; pod red. V.V. Nazarova, A.S. Grodskogo. – M.: IKC «Akademkniga», 2007. – 374 s.
6. Fridrihsberg, D.A. Kurs kolloidnoj himii [Tekst]: ucheb. dlja vuzov / D.A. Fridrihsberg. – 4-e izd., ispr. i dop. – SPb.: Lan', 2010. – 411 s.

N. Lukutcova

Bryansk state engineering-technological academy, Bryansk
Doctor of technical sciences, Professor, head of the department «Production of building structures»
E-mail: natluk58@mail.ru

I. Cudesh

Bryansk state engineering-technological academy, Bryansk
Candidate of technical sciences, associate professor of the department «Chemistry»
E-mail: irina.kulesh@gmail.com

O. Antonenkova

Bryansk state engineering-technological academy, Bryansk
Candidate of technical sciences, associate professor of the department «Mathematics»
E-mail: antool@mail.ru

A. Pikin

Bryansk state engineering-technological academy, Bryansk
Candidate of technical sciences, associate professor of the department «Production of building structures»
E-mail: antool@mail.ru

A. Ustinov

Bryansk state engineering-technological academy, Bryansk
Graduate

A. Matsaenko

Bryansk state engineering-technological academy, Bryansk
Master

A. Suglovov

Bryansk state engineering-technological academy, Bryansk
Master

ЩЕПОЧКИНА Ю.А.

О ТОЛЩИНЕ ШВА КЛАДКИ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Рассмотрена кирпичная кладка сооружений XIII-XVIII в. Кирпичные сооружения, где толщина шва кладки менее 10 мм практически не встречаются. На многочисленных сооружениях толщина горизонтального и вертикального шва кладки достигает 20-25 мм и даже 30 мм. Исследованы фрагменты кирпича (XVII в.) и скреплявшего его кладочного раствора.

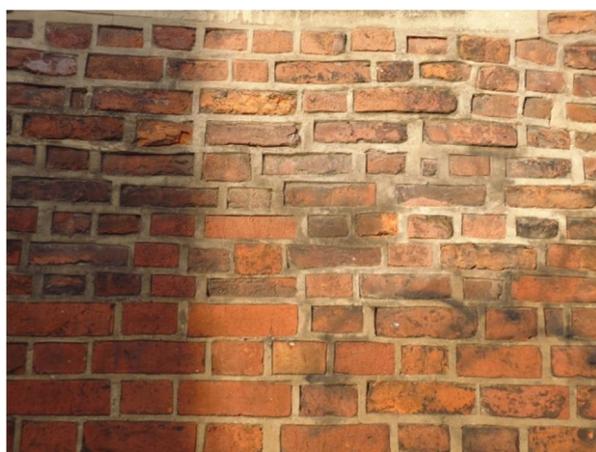
Ключевые слова: керамический кирпич, раствор, кладка.

Кирпичная кладка представляет собой не что иное, как конструкцию из кирпича, уложенного на строительном (кладочном) растворе в определенном порядке. Как известно, долговечность такой конструкции во многом определяется качеством кладки, которая будет зависеть от прочности (марки) кирпича, марки раствора, толщины швов, расположения кирпича в кладке [1]. Этим показателям всегда уделялось повышенное внимание, за исключением контроля толщины швов. Считается, что толщина горизонтальных швов в кирпичной кладке должна быть не менее 10 мм и не более 15 мм (средняя толщина горизонтальных швов в пределах высоты этажа – 12 мм), считается также, что уменьшение толщины швов снижает прочность кладки из-за того, что уложенные кирпичи работают на изгиб; увеличение толщины швов также снижает прочность кладки из-за того, что раствор имеет более низкую прочность по сравнению с кирпичом [1]. Существует мнение, что от раствора не требуется высокой прочности, так как он скрепляет между собой более прочные кирпичи [2].

Кирпичные сооружения, где толщина шва кладки менее 10 мм практически не встречаются. Вместе с тем, на многочисленных, хорошо сохранившихся, кирпичных сооружениях (была осмотрена кирпичная кладка более тридцати сооружений XIII-XVIII в., расположенных на территориях России, Белоруссии, Литвы, Польши и составлен фотоархив), эксплуатируемых на протяжении длительного времени, толщина горизонтального и вертикального шва кладки достигает 20-25 мм и даже 30 мм (рис. 1). Одна из причин такой толщины шва необходимость выравнивания кладки по отношению к горизонтали (рис. 2).



*Рисунок 1 – Кирпичная кладка, XIV в.
Толщина шва 20-25 мм*



*Рисунок 2 – Кирпичная кладка, XIV в. Выравнивание
кладки по отношению к горизонтали*

Можно также обнаружить, что в некоторых старых постройках кирпич разрушен, а затвердевший кладочный раствор полностью сохранился (рис. 3). Вместе с тем, на многих современных, простоявших всего несколько лет, но уже аварийных сооружениях, разрушенны-

ми оказываются именно швы, а кирпич (полнотелый) остается практически не поврежденным. Очевидно, что прочность затвердевшего кладочного раствора и, по-видимому, толщина шва в этих случаях оказывались недостаточными.



Рисунок 3 – Кирпичная кладка, начало XVIII в. Разрушенный кирпич при сохранившемся связующем

Нами были исследованы фрагменты кирпича (XVII в.) и скреплявшего его кладочного раствора. Кирпич полнотелый с плотным черепком красно-коричневой окраски, имеет небольшие камневидные посторонние включения. По своей плотности (истинная плотность 2850 кг/м^3 , средняя плотность 2160 кг/м^3) такой кирпич несколько отличается от современного (истинная плотность $2600\text{-}2700 \text{ кг/м}^3$, средняя плотность $1600\text{-}1900 \text{ кг/м}^3$) [2]. Исследуемый кирпич имеет мелкие открытые поры вытянутой формы размером до 2 мм. При этом водопоглощение кирпича составляет 7,14%.

Затвердевший кладочный раствор светло-серой окраски, включает крупные зерна кварца (кварцевый песок), характеризуется следующими свойствами (истинная плотность 2800 кг/м^3 , средняя плотность 2140 кг/м^3). Материал имеет мелкие открытые поры, его водопоглощение составляет 12,3%. При взаимодействии с соляной кислотой (1 н раствор) интенсивно выделяет газообразные продукты, что указывает на то, что в качестве вяжущего вещества в составе раствора применена известь.

Из результатов исследований видно, что кирпич из сохранившейся на протяжении четырех веков кладки, имеет повышенную плотность, сопоставимую с плотностью затвердевшего кладочного раствора.

Таким образом, для повышения качества строительства, увеличения долговечности современных кирпичных сооружений представляется целесообразным использовать кладочные растворы, не только марка, но и плотность которых сопоставима с маркой и плотностью кирпича, при этом возможно увеличение толщины шва.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филимонов, П.И. Справочник молодого каменщика [Текст] / П.И. Филимонов. – М.: Высш. шк., 1990. – 240 с.
2. Воронцов, В.М. Вяжущие материалы и изделия на их основе [Текст] / В.М. Воронцов, Л.А. Сулейманова, В.И. Мосьпан. – Белгород, Изд-во БГТУ, 2010. – 182 с.

Щепочкина Юлия Алексеевна

Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново

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

E-mail: julia2004ivanovo@yandex.ru

Ju. SHCHEPOCHKINA

ABOUT THE THICKNESS OF THE SEAM MASONRY BRICK

Considered the brickwork structures 13-18th centuries. Brick buildings, where the thickness of the seam masonry less than 10 mm are almost non-existent. The many facilities the thickness of the horizontal and vertical seam masonry reaches 20-25 mm and 30 mm even. Researched fragments of bricks (17th century) and masonry mortar.

Keywords: *ceramic brick, mortar, masonry.*

BIBLIOGRAPHY

1. Filimonov, P.I. Spravochnik mladogo kamenshika [Tekst] / P.I. Filimonov. – M.: Vyssh. shk., 1990. – 240 s.
2. Voroncov, V.M. Vjazhushhie materialy i izdelija na ih osnove [Tekst] / V.M. Voroncov, L.A. Sulejmanova, V.I. Mos'pan. – Belgorod, Izd-vo BGTU, 2010. – 182 s.

Ju. Shchepochkina

Ivanovo state polytechnic university, Ivanovo

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

E-mail: julia2004ivanovo@yandex.ru

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с основными требованиями
к оформлению научных статей

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит от **4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и вверху – 2 см.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна статья одного автора**, включая соавторство.
- **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

В тексте статьи не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
 - для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
 - произвольные словообразования;
 - сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

Обязательные элементы:

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем – 500 печатных знаков;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

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

С полной версией требований к оформлению научных статей
Вы можете ознакомиться на сайте www.gu-unprk.ru

Адрес учредителя журнала

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

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)
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 27.01.2015 г.
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 8,81.
Тираж 400 экз.
Заказ №83/15П1

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