



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

№5 (37) 2011
(сентябрь-октябрь)

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.

Редакция:

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

Ответственный за выпуск:

Солопов С.В. к.т.н.

Адрес редакции:

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

Зарегистрировано в Федеральной службе
по надзору в сфере связи и массовых ком-
муникаций. Свидетельство:
ПИ № ФС77-35718 от 24 марта 2009 г.

Подписной индекс 86294 по объединенному
каталогу «Пресса России»

© ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2011

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Абашин Е.Г.** Определение площади поперечного сечения рабочей арматуры в железобетонных балках вибрационным методом..... 3
- Горшенин В.П.** Анализ методов решения задачи центрального качественного регулирования отпуска теплоты в водяных системах централизованного теплоснабжения..... 8
- Заянчуковская Н.В., Лебедев Ю.Н.** Об одном подходе к оценке и выбору программных продуктов для создания информационной модели объектов теплоэнергетики..... 14
- Кобелева С.А.** Методические подходы проектирования ресурсо- и энергоэффективных зданий..... 18
- Колчунов В.И., Клюева Н.В., Бухтиярова А.С.** Сопротивление пространственных узлов сопряжения железобетонных каркасов многоэтажных зданий при запроектных воздействиях..... 21
- Коробко В.И., Савин С.Ю.** Изгиб прямоугольных ортотропных пластинок с однородными и комбинированными граничными условиями..... 33
- Осипова Н.Н.** Выбор рациональной области применения централизованных и децентрализованных систем снабжения сжиженным углеводородным газом..... 39
- Поландов Ю.Х., Барг М.А., Бабанков В.А.** О влиянии перегородки на развитие взрыва газо-воздушной смеси в объеме цилиндрической формы..... 45
- Турков А.В., Марфин К.В.** Прогнозы и частоты собственных колебаний составных круглых изотропных пластин с различными граничными условиями при изменении жесткости связей сдвига..... 51
- Уткин В.С., Редькин А.Н.** Расчет надежности стальной балки с гибкой стенкой по критерию прочности стенки при ограниченной статистической информации с использованием распределений, полученных на основе неравенства Чебышева..... 56
- Федосов С.В., Румянцева В.Е., Хрунов В.А., Шестеркин М.Е.** Вопросы прогнозирования долговечности строительных конструкций..... 63

Безопасность зданий и сооружений

- Гайлитис Д.И.** К вопросу обеспечения экологической безопасности окружающей среды в практике проектирования объектов транспортного строительства..... 70

Архитектура и градостроительство

- Семенова С.А., Шрейбер А.А.** Комплексная оценка городской среды с учетом потребностей маломобильных групп населения и инвалидов..... 73

Строительные материалы и технологии

- Алоян Р.М., Гуямджян П.П., Ветренко Т.Г., Костяшова Е.В.** Экологическая безопасность материалов..... 80
- Огурцов В.А., Горохова Е.Р., Огурцов А.В., Медведева П.А.** Моделирование движения частиц при виброгрохочении на основе теории цепей Маркова..... 85
- Серегин Г.В., Бурдун К.П.** Проектирование блоков косоходной зоны установки сухого тушения кокса..... 89
- Стефаненко И.В.** Эффективный рост высоких технологий в строительной промышленности..... 95
- Христофоров А.И., Христоворов И.А., Пикалов Е.С.** Улучшение керамических свойств модифицированной стеновой керамики..... 99

Интеграция информационных и коммуникационных технологий в технических вузах России

- Enzfelder K., Kadohph A., Wach M.** IKTRu – интеграция информационных и коммуникационных технологий в технических вузах России..... 106
- Гладышева О.В., Булаков А.Г., Данилевич Д.В.** E-Learning как форма дистанционного обучения дорожному проектированию..... 110
- Суровцев И.С., Проскурин Д.К., Самодурова Т.В., Гладышева О.В.** Проект TEMPUS в Воронежском ГАСУ..... 117

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.

№5 (37) 2011
(September- October)

BUILDING AND RECONSTRUCTION

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

Editorial council:

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
president
Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof.,
vice-president
Borzenkov M.I. Candidat Sc. Tech.,
Assistant Prof.
Astafichev P.A. Doc. Sc. Law., Prof.
Ivanova T.N. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.
Novikov A.N. Doc. Sc. Tech., Prof.
Popova L.V. Doc. Ec. Tech., Prof.
Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief

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

Editor-in-chief assistants:

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

Editorial committee

Bondarenko V.M. Doc. Sc. Tech., Prof.
Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.
Karpenko N.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kljueva N.V. Doc. Sc. Tech., Assistant Prof.
Korobko A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Korol E.A. Doc. Sc. Tech., Prof.
Merkulov C.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Olkov Y.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Rimshin V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Sergeyev O.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Serpik I.N. Doc. Sc. Tech., Prof.
Tur V.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Turkov A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Fyodorov V.S. Doc. Sc. Tech., Prof.
Chernyshov E.M. Doc. Sc. Tech., Prof.
Schach R. Doc. Sc. Tech., Prof.

Responsible for edition:

Solopov S.V. Candidat Sc. Tech

The edition address: 302006, Orel,
Street Moscow, 77
+7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: oante@ostu.ru

Journal is registered in Federal service on su-
pervision in sphere of communication and
mass communications

The certificate of registration:
ПН № ФС77-35718 from 24.03.09

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»
86294

© State University ESPC, 2011

Contents

Theory of engineering structures. Building units

Abashin E.G. Definition of cross-section area of longitudinal reinforcement bar in reinforced concrete beams by vibration method.....	3
Gorshenin V.P. Analysis of methods of the problem solution of central quality control of heat release in water systems of district heat supply.....	8
Zayanchukovskaya N.V., Lebedev U.N. Consideration on an approach to estimation and choice of software for creating information models for objects of heat and power engineering.....	14
Kobeleva S.A. Methodical approaches of planning of resours- and energyeffective building.....	18
Kolchunov V.I., Kljueva N.V., Buhtjarova A.S. Strength of joints in spatial reinforced concrete frames of high rise buildings under actions beyond design basis.....	21
Korobko V.I., Savin S.Yu. Bending of the rectangular orthotropic plate with homogeneous and combined boundary conditions.....	33
Osipova N.N. Rational choice applications centralized and decentralized systems of supply liquefied hydrocarbon gas.....	39
Polandov Y.H., Barg M.A., Babankov V.A. About influence of the partition on development of explosion of the gazo-air mix in volume of the cylindrical form.....	45
Turkov A.V., Marfin K.V. Deflection and natural frequency composite circular isotropic plates with various boundary conditions for change stiffness shear.....	51
Utkin V.S., Redkin A.N. Calculation of reliability of a steel beam with a flexible wall according to the strength wall criterion at got limited statistical information with the use of distributions received on the basis of Chebyshev's inequality.....	56
Fedosov S.V., Rummyantseva V.Ye., Krunov V.A., Shesterkin M.E. Questions forecasting bulding contraction.....	63

Building and structure safety

Gajlitis D.I. To a question of maintenance of ecological safety of environment in practice of designing of objects of transport building.....	70
--	----

Architecture and town-planning

Semenova S.A., Shreiber A.A. Complex appraisal of city environment regarding the needs of people with low mobility and the disabled.....	73
---	----

Construction materials and technologies

Alojan R.M., Gujumdzhjan P.P., Vetrenko T.G., Kostjashova E.V. Ecological safety bulding materials.....	80
Ogurtzov V.A., Gorokhova E.R., Ogurtzov A.V., Medvedeva P.A. Modelling of particles motion at screening on the basis of the theory of Markov chains.....	85
Serygin G.V., Burdun K.I. Desing of blocks of coke dry-quenching plant diagonal zones.....	89
Stefanenko I.V. Effective development of high the technologies in bulding industry.....	95
Khristoforov A.I., Khristoforov I.A., Pikalov E.S. Modified – wall ceramics with improved ceramic properties.....	99

Integration of information and communication technologies in the technical universities of Russia

Enzfelder K., Kadolph A., Wach M. IKTRu – integration of information and communication technologies in the technical universities of Russia.....	106
Gladysheva O.V., Bulgakov A.G., Danilevich D.V. E-Learning as e form of distance teaching for roads design.....	110
Surovtsev I.S., Proskurin D.K., Samodurova T.V., Gladysheva O.V. Project TEMPUS at the Voronezh state architecturally-building university.....	117

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ РАБОЧЕЙ АРМАТУРЫ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ ВИБРАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

В статье рассматриваются результаты теоретических и экспериментальных исследований по оценке площади поперечного сечения продольной рабочей арматуры в железобетонных балках по величине их основных частот свободных поперечных и продольных колебаний путем динамических испытаний. В результате этих исследований установлено, что площадь поперечного сечения продольной рабочей арматуры в железобетонных балках функционально связана с их основной (или первой резонансной) частотой продольных и поперечных колебаний и построены соответствующие аппроксимирующие функции, позволяющие для балок конкретного типа получать оценку диаметра рабочей арматуры.

Ключевые слова: железобетонная балка, рабочая продольная арматура, площадь поперечного сечения, вибрационные испытания, основная частота колебаний, продольные колебания, поперечные колебания, аппроксимирующая функция.

Железобетонные конструкции являются наиболее распространенными в современном строительстве, поэтому проблема разработки новых неразрушающих методов их диагностики и контроля качества является актуальной. Особую значимость эта проблема приобрела в настоящее время, поскольку большое количество зданий и сооружений реконструируется для новых технологических нужд. При проведении обследования железобетонных конструкций таких зданий и сооружений зачастую отсутствует какая-либо информация о физико-механических свойствах использованного бетона, армировании и др. сведения, необходимые для проверки прочности, жесткости и трещиностойкости конструкций под новые технологические нагрузки.

В нашей стране существует система выборочного контроля качества железобетонных конструкций балочного типа, регламентируемая ГОСТ 8829-94 [1], когда из конструкций определенной партии выбираются для контроля лишь несколько изделий, которые испытывают методом статического нагружения до разрушения, при этом полученные результаты распространяются на всю партию. Такой метод контроля экономически неэффективен и не обеспечивает достоверности результатов контроля.

Более выгодны с экономической точки зрения вибрационные методы контроля. Однако в нашей стране они до сих пор не получили должного распространения. Для определения диаметра арматуры используются ультразвуковые и магнитоэлектрические способы [2]. Вибрационный же метод для этих целей не использовался.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования, проводимые научным коллективом под руководством В.И. Коробко [3], показали, что вибрационные методы позволяют определять интегральные характеристики железобетонных балок (прочность, жесткость и трещиностойкость) по результатам анализа динамических параметров контролируемых конструкций (основная или первая резонансная частота колебаний, логарифмический декремент затуханий колебаний). Авторские свидетельства и патенты, полученные в этом направлении, основаны на использовании фундаментальной закономерности, установленной В.И. Коробко [3], согласно которой *произведение максимального прогиба упругой однопролетной балки постоянного сечения с произвольными граничными условиями, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой q , на квадрат ее основной (или первой резонансной) частоты колебаний с точностью до размерного коэффициента q/m (q – интенсивность нагруз-*

ки, m – погонная масса балки) есть величина постоянная, равная $\approx 4/\pi$:

$$w_0 \omega^2 \approx 4/\pi \cdot q/m. \quad (1)$$

Большинство изобретений, разработанных с использованием указанной закономерности, относятся к железобетонным предварительно напряженным конструкциям.

В статье [4] теоретически показана возможность определения площади поперечного сечения продольной арматуры в железобетонных ненапряженных балках по основной частоте её свободных поперечных (2) и продольных (3) колебаний:

$$A_s = \frac{1}{\alpha_s y_s^2} \left(\frac{l^4 \omega_{non}^2 m}{83,12 E_b} - I_b \right). \quad (2)$$

$$A_s = \frac{I}{\alpha_s} \left(\frac{\omega_{np}^2 \ell^2 m}{E_b \pi^2} - A_b \right). \quad (3)$$

Здесь использованы общепринятые обозначения в теории железобетонных конструкций.

Для экспериментальной проверки зависимостей (2) и (3) были изготовлены 6 типов железобетонных перемычек (по две одинаковых, всего 12 штук) со следующими геометрическими характеристиками: $l = 2590$ мм, $b = 120$ мм, $h = 140$ мм; масса перемычек $m \approx 109$ кг; бетон класса В15; арматура класса А-III шести диаметров ($d_s = 8, 10, 12, 14, 16$ и 18 мм).

Схема экспериментального стенда, на котором проводились статические и динамические испытания перемычек, приведена на рисунке 1.

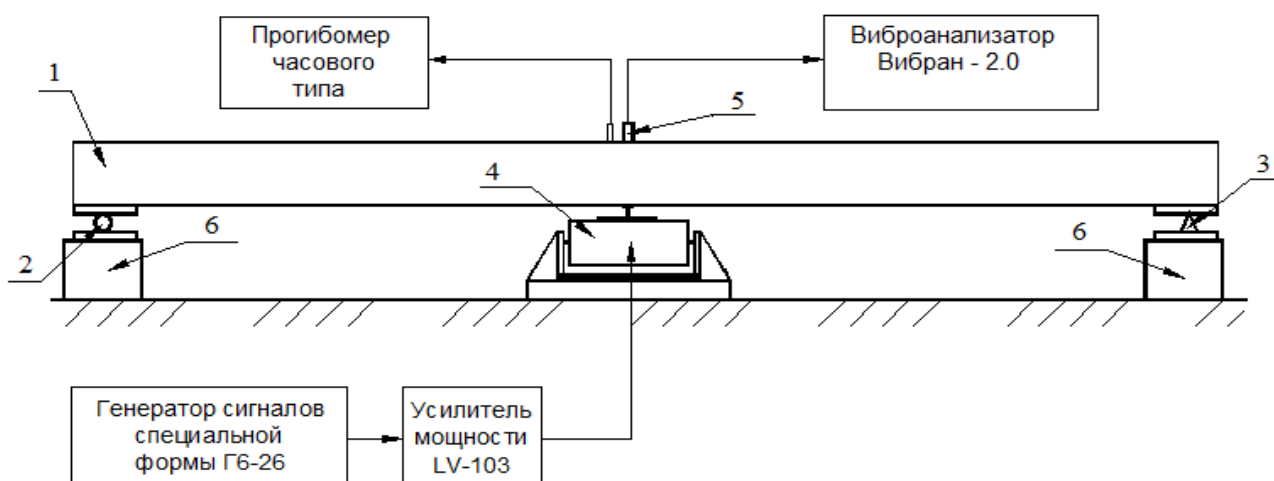


Рисунок 1 – Функциональная схема испытательного стенда:

1 – контролируемая балка; 2, 3 – подвижная и неподвижная шарнирные опоры;
4 – ударное устройство – возбудитель собственных поперечных колебаний;
5 – виброанализатор спектра колебаний «Вибран-2»; 6 – силовые опоры

В балке 1, установленной на стенде и закреплённой на опорах 2 и 3, с помощью ударного устройства 4 возбуждались поперечные механические колебания, анализ которых осуществлялся с помощью виброанализатора 5, и определялась основная частота колебаний. После проведения обработки результатов измерений был проведен графический анализ полученных экспериментальных зависимостей (рис. 2, 3).

На рисунке 2 представлены графики зависимостей круговой частоты поперечных колебаний балки $\omega_{\text{поп}}$, прочности q_{cr} , трещиностойкости q_{crc} , жесткости w_0 от диаметра рабочей арматуры d_s : прямая $d_s - \omega_{\text{поп(теор)}}$ построена по теоретической формуле (2); прямая $d_s - \omega_{\text{поп(эксп)}}$ является функцией, аппроксимирующей экспериментальные результаты, уравнение которой представляется выражением:

$$\omega_{\text{поп(эксп)}} = 22,797 + 0,427 d_s. \quad (4)$$

Таблица 1 – Результаты измерения основной частоты поперечных колебаний балок, отклонения экспериментальной частоты от теоретической

Диаметр арматуры, d_s , мм	8	10	12	14	16	18
$\omega_{\text{поп}} (\text{эксп}), \text{с}^{-1}$	164	166	182	176	189	189
$\omega_{\text{поп}} (\text{теор}), \text{с}^{-1}$	182	184	186	189	192	194
Отклонение, с^{-1}	18	18	4	13	3	5
Отклонение, %	9,81	9,74	2,08	6,74	1,47	2,49

Таблица 2 – Результаты измерения основной частоты продольных колебаний балок, отклонения экспериментальной частоты от теоретической

Диаметр арматуры, d_s , мм	8	10	12	14	16	18
$\omega_{\text{пр}} (\text{эксп}), \text{с}^{-1}$	3435	3564	3705	3812	3828	3972
$\omega_{\text{пр}} (\text{теор}), \text{с}^{-1}$	3730	3755	3787	3818	3856	3900
Отклонение, с^{-1}	295	191	82	6	28	72
Отклонение, %	7,91	5,09	2,17	0,16	0,73	1,85

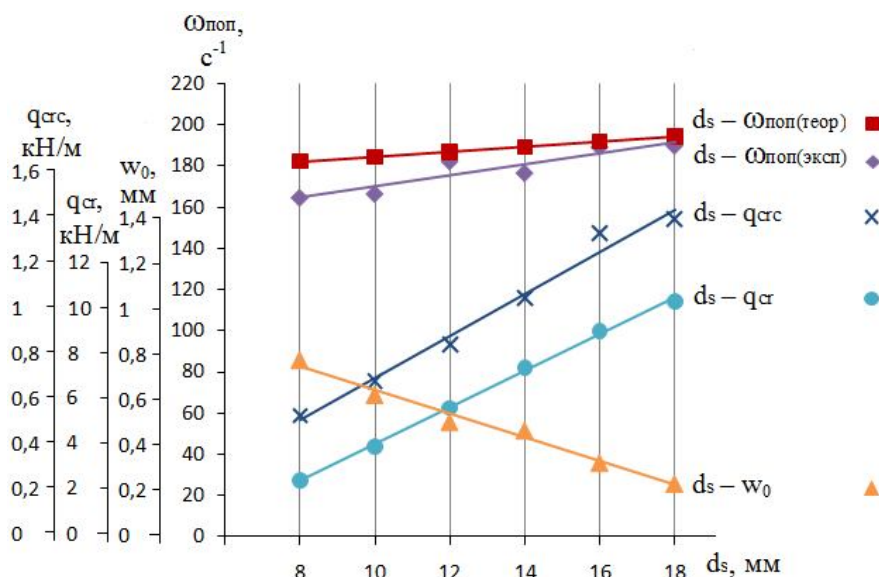


Рисунок 2 – Графические зависимости контролируемых параметров железобетонных балок от их основной частоты поперечных колебаний

На рисунке 3 представлены графики зависимостей круговой частоты продольных колебаний балки $\omega_{\text{пр}}$, прочности $q_{\text{кр}}$, трещиностойкости $q_{\text{крс}}$, жесткости w_0 от диаметра рабочей арматуры d_s : прямая $d_s - \omega_{\text{пр(теор)}}$ построена по теоретической формуле (2); прямая $d_s - \omega_{\text{пр(эксп)}}$ является функцией, аппроксимирующей экспериментальные результаты, уравнение которой представляется выражением:

$$\omega_{\text{пр(эксп)}} = 3053,7 + 51,2 d_s. \quad (5)$$

Попутно при проведении экспериментов был осуществлён весь требуемый по ГОСТ [1] комплекс контроля жесткости, трещиностойкости и прочности изготовленных балок и выявлены функциональные связи между этими параметрами и диаметром арматуры. Эти экспериментальные зависимости, представленные на рисунках 2 и 3, как и следовало ожидать, близки к линейным. На рисунке вертикальный масштаб у рассматриваемых функций разный; это сделано для удобства графического представления результатов эксперимента.

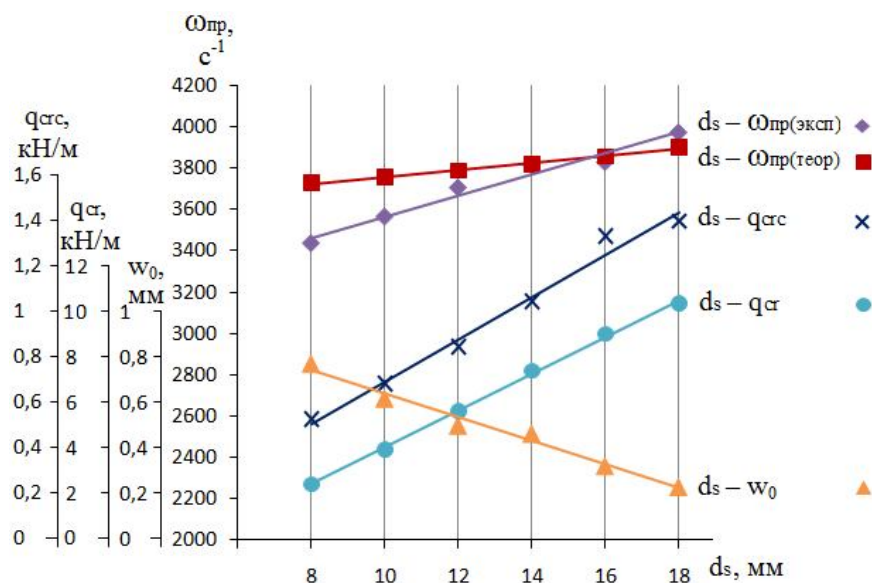


Рисунок 3 – Графические зависимости контролируемых параметров железобетонных балок от их основной частоты продольных колебаний

Выводы

1 Проведенные эксперименты убедительно подтвердили наличие функциональной связи между площадью рабочей арматуры в железобетонных ненапряженных балках с их основной частотой продольных и поперечных колебаний в ненагруженном состоянии. Этот физический эффект может лечь в основу разработки вибрационного способа диагностики железобетонных балок, находящихся в условиях эксплуатации.

2 Выявлены функциональные зависимости между параметрами жесткости, трещиностойкости и прочности железобетонных балок и диаметром рабочей арматуры. При этом, несмотря на различные условия работы конструкций при контроле отдельных ее параметров, функциональные зависимости получились практически линейными. Эти зависимости приводят к идее разработки теоретического аппарата для приближенного определения жесткости, трещиностойкости и прочности железобетонных балок по площади рабочей арматуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8829-94. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Методы испытания нагружением и оценка прочности, жёсткости и трещиностойкости [Текст]. – Взамен ГОСТ 8829-85; Введ. 1998.01.01. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 26 с. – (Государственный стандарт СССР).
2. Крылов, Н.А. Испытание конструкций сооружений [Текст] / Н.А. Крылов, К.А. Глуховский. – Л.: Стройиздат, 1970. – 271 с.
3. Коробко, В.И. Контроль качества строительных конструкций: Виброакустические технологии [Текст] / В.И. Коробко, А.В. Коробко. – М.: АСВ, 2003. – 288 с.
4. Коробко, В.И. Способы определения площади поперечного сечения продольной арматуры и модуля упругости бетона в железобетонных балках по результатам статических и динамических испытаний / В.И. Коробко, Е.Г. Абашин // Известия ОрелГТУ. Серия «Строительство. Транспорт». – Орел: ОрелГТУ – 2010. – №2(28). – С. 23-25.

Абашин Евгений Геннадьевич

Центр экспертизы промышленной безопасности ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»

Инженер

Тел.: +7 (4862) 76-03-72

E-mail: evabashin@yandex.ru

ABASHIN E.G.

DEFINITION OF CROSS-SECTION AREA OF LONGITUDINAL REINFORCEMENT BAR IN REINFORCED CONCRETE BEAMS BY VIBRATION METHOD

The article examines the results of theoretical and experimental investigations for evaluation of cross-section area of longitudinal reinforcement bar in reinforced concrete beams by the main frequency lateral and longitudinal oscillations by the dynamic tests. By the investigations results is proved that cross-section area of longitudinal reinforcement bar in reinforced concrete beam is functionally connected with the main frequency lateral and longitudinal oscillations of the beam and construct the corresponding approximating functions, allow to receive the cross-section area of longitudinal reinforcement bar for a particular type of beams.

Keywords: reinforced concrete beams, longitudinal reinforcement bar, cross-section area, vibration tests, the main frequency of vibrations, longitudinal oscillation, lateral oscillation, approximating function.

BIBLIOGRAPHY

1. GOST 8829-94. Konstrukcii i izdelija betonnye i zhelezobetonnye sbornye. Metody ispytaniya nagruzheniem i ocenka prochnosti, zhjostkosti i trewinostonkosti [Tekst]. – Vzamen GOST 8829-85; Vved. 1998.01.01. – M.: Izd-vo standartov, 1994. – 26 s. – (Gosudarstvennyj standart SSSR).
2. Krylov, N.A. Ispytanie konstrukcij sooruzhenij [Tekst] / N.A. Krylov, K.A. Gluhovskij. – L.: Strojizdat, 1970. – 271 s.
3. Korobko, V.I. Kontrol' kachestva stroitel'nyh konstrukcij: Vibroakusticheskie tehnologii [Tekst] / V.I. Korobko, A.V. Korobko. – M.: ASV, 2003. – 288 s.
4. Korobko, V.I. Sposoby opredelenija plowadi poperechnogo sechenija prodol'noj armatury i modulja uprugosti betona v zhelezobetonnyh balkah po rezul'tatam staticheskikh i dinamicheskikh ispytanij / V.I. Korobko, E.G. Abashin // Izvestija OrelGTU. Serija «Stroitel'stvo. Transport». – Orel: OrelGTU – 2010. – №2(28). – S. 23-25.

Abashin Evgeniy Gennadevich

Center of industrial safety state university – educational-science-production complex, Orel

Engineer

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

E-mail: evabashin@yandex.ru

ГОРШЕНИН В.П.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЧЕСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ В ВОДЯНЫХ СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Показано, что рассматриваемая задача аналитически решается как с использованием уравнения характеристики теплообменного аппарата (существующее решение), так и с использованием традиционного уравнения теплопередачи. Решение задачи сводится к совместному решению трех уравнений. В рамках предлагаемого подхода система уравнений, кроме уравнения теплопередачи, включает в себя уравнения тепловых потоков, соответственно, отдаваемого тепловой сетью и воспринимаемого системой отопления. Отмеченные тепловые потоки записаны одновременно как через текущий, так и расчетный перепад температуры теплоносителей. При этом предлагается в инженерной практике использовать линейный закон регулирования отпускаемого теплового потока.

Ключевые слова: система теплоснабжения, тепловой поток, расход сетевой воды, центральное качественное регулирование, закон изменения теплового потока на отопление, уравнение характеристики, уравнение теплопередачи, уравнение теплового баланса, система уравнений, температура сетевой воды, уравнение прямой, температурный график.

Экономическая эффективность работы систем централизованного теплоснабжения (СЦТ) во многом зависит от качества регулирования тепловых потоков, отпускаемого котельной (ТЭЦ) и потребляемых инженерными системами зданий населенного пункта.

При этом в котельной (на ТЭЦ) осуществляется качественное регулирование отпускаемого теплового потока, а в групповых и местных тепловых пунктах проводится количественное регулирование потребляемых тепловых потоков [1].

В данном исследовании проводится анализ методов решения задачи центрального качественного регулирования отпуска теплоты в водяных СЦТ, осуществляемого по закону изменения теплового потока на отопление.

Как известно, целью решения этой задачи является математическое описание зависимости температуры сетевой воды τ_i от температуры наружного воздуха t_n .

Один из методов решения анализируемой задачи освещен в [1]. В качестве искомых величин в [1] рассматриваются температуры сетевой воды в подающей $\tau_1(\tau_{1m})$ и в обратной $\tau_2(\tau_{2m})$ магистралях тепловой сети. Соответственно, решением задачи являются математические выражения зависимостей:

$$\tau_1=f(t_n); \tau_2=f(t_n); \quad (1)$$

$$\tau_{1m}=f(t_n); \tau_{2m}=f(t_n), \quad (1^*)$$

где τ_1, τ_{1m} – текущие температуры сетевой воды в подающей магистрали тепловой сети, соответственно, перед системами отопления при их зависимом присоединении и перед отопительными теплообменниками, обеспечивающими независимое подсоединение систем отопления, °С; τ_2, τ_{2m} – текущие температуры сетевой воды, поступающей в обратную магистраль тепловой сети, соответственно, из систем отопления при их зависимом присоединении и из отопительных теплообменников, обеспечивающих независимое подсоединение систем отопления, °С; t_n – текущая температура наружного воздуха, °С.

Однако следует отметить, что с изменением температуры наружного воздуха t_n в котельной (на ТЭЦ) регулируется только значение температуры воды, отпускаемой в подающую магистраль тепловой сети ($\tau_1; \tau_{1m}$). Значение же температуры воды в обратной магистрали тепловой сети ($\tau_2; \tau_{2m}$) устанавливается естественным путем в соответствии с уравнением теплопередачи отопительных приборов (отопительных теплообменников) систем водяного отопления. Следовательно, имеем:

$$\tau_2 = \tau_1 - \beta_{qo} \Delta \tau_c^p = \tau_1 - \beta_{qo} (W_o^p / W_c^p) \Delta \tau_o^p, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (2)$$

$$\tau_{2m} = \tau_{1m} - \beta_{qo} \Delta \tau_{cm}^p = \tau_{1m} - \beta_{qo} (W_{om}^p / W_{cm}^p) \Delta \tau_{om}^p, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2^*)$$

где β_{qo} – коэффициент пересчета максимального значения (Q_o^{max}) теплового потока на отопление на его текущее значение (Q_o); $\beta_{qo} = (t_6^p - t_n) / (t_6^p - t_{no})$; t_6^p – расчетная температура внутреннего воздуха в здании, $^\circ\text{C}$; t_n – то же, что и в выражении (1); t_{no} – расчетная температура наружного воздуха (для проектирования отопления), $^\circ\text{C}$; $\Delta \tau_c^p$, W_c^p и $\Delta \tau_{cm}^p$, W_{cm}^p – расчетные перепад температуры ($^\circ\text{C}$) и эквивалент расхода (Дж/с $^\circ\text{C}$) сетевой воды, соответственно, при зависимом и независимом присоединении систем водяного отопления; $\Delta \tau_o^p$, W_o^p – расчетные, соответственно, перепад температуры ($^\circ\text{C}$) и эквивалент расхода (Дж/с $^\circ\text{C}$) воды, циркулирующей через системы водяного отопления; $\Delta \tau_{om}^p$, W_{om}^p – расчетные, соответственно, перепад температуры ($^\circ\text{C}$) и эквивалент расхода (Дж/с $^\circ\text{C}$) воды, нагреваемой в отопительных теплообменниках; $\Delta \tau_c^p = \tau_1^p - \tau_2^p$; $\Delta \tau_{cm}^p = \tau_{1m}^p - \tau_{2m}^p$; $\Delta \tau_o^p = \tau_3^p - \tau_2^p$; $\Delta \tau_{om}^p = \tau_{1o}^p - \tau_{2o}^p$; τ_1^p , τ_{1m}^p – расчетные температуры сетевой воды в подающей магистрали тепловой сети, соответственно, перед системами отопления при их зависимом присоединении и перед отопительными теплообменниками, обеспечивающими независимое подсоединение систем отопления, $^\circ\text{C}$; τ_2^p , τ_{2m}^p – расчетные температуры сетевой воды, поступающей в обратную магистраль тепловой сети, соответственно, из систем отопления при их зависимом присоединении и из отопительных теплообменников, обеспечивающих независимое подсоединение систем отопления, $^\circ\text{C}$; τ_3^p – расчетная температура воды на входе в системы отопления (после смесительных устройств), $^\circ\text{C}$; τ_{1o}^p , τ_{2o}^p – расчетные температуры нагреваемой воды, соответственно, на выходе из отопительных теплообменников и на входе из них ($\tau_{2o}^p = \tau_2^p$; при отсутствии смесительных устройств: $\tau_{1o}^p = \tau_3^p$), $^\circ\text{C}$.

Как известно, при качественном регулировании теплового потока:

$$W_c^p = W_c; W_{cm}^p = W_{cm}; W_o^p = W_o; W_{om}^p = W_{om}, \quad (3)$$

где W_c , W_{cm} , W_o , W_{om} – текущие эквиваленты расходов, соответственно, сетевой воды при зависимом и независимом присоединении систем отопления, воды, циркулирующей через системы отопления, и воды, нагреваемой в отопительных теплообменниках, Дж/(с $^\circ\text{C}$).

Для определения температур прямой τ_1 и обратной τ_2 сетевой воды в СЦТ с зависимым присоединением систем отопления в [1] получены следующие выражения:

$$\tau_1 = t_6^p + \Delta t_{np}^p \Theta_o^m + (\Delta \tau_c^p - 0,5 \Delta \tau_o^p) \Theta_o, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (4)$$

$$\tau_2 = t_6^p + \Delta t_{np}^p \Theta_o^m - 0,5 \Delta \tau_o^p \Theta_o, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (5)$$

где t_6^p , Δt_{np}^p , $\Delta \tau_o^p$ – то же, что и в выражении (2); Δt_{np}^p – расчетный температурный напор отопительных приборов, $^\circ\text{C}$; Θ_o – относительный тепловой поток на отопление; $\Theta_o = Q_o / Q_o^{max}$; $\Theta_o = \beta_{qo}$; β_{qo} – то же, что и в выражении (2); m – показатель степени, полученный при выводе выражений (4) и (5); $m = 1 / (1 + n)$; n – показатель степени, полученный при обработке результатов экспериментальных исследований теплоотдачи отопительных приборов; $n = 0,15 \dots 0,30$ [2, 3]; в [1] принято: $n = 0,25$, $m = 0,8$.

При независимом присоединении систем отопления температуры сетевой воды до отопительных теплообменников τ_{1m} и после них τ_{2m} определяются по выражениям [1]:

$$\tau_{1m} = \tau_{1o} + \Delta \tau_{om}^p [(W_{om} / (W_{cm} \epsilon_m)) - 1] \Theta_o, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (6)$$

$$\tau_{2m} = \tau_{2o} + \Delta \tau_{om}^p [(W_{om} / (W_{cm} \epsilon_m)) - (W_{om} / W_{cm})] \Theta_o, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (7)$$

где τ_{1o} , τ_{2o} – текущие температуры нагреваемой воды, соответственно, на выходе из отопительных теплообменников и на входе из них ($\tau_{2o} = \tau_2$; при отсутствии смесительных устройств: $\tau_{1o} = \tau_3$), $^\circ\text{C}$; определяются по выражениям (4) и (5) с учетом переобозначения: $\Delta \tau_c^p = \Delta \tau_{om}^p$; $\Delta \tau_{om}^p$ – то же, что и в выражении (2^{*}); W_{om} , W_{cm} – то же, что и в выражении (3); ϵ_m – коэффициент эффективности отопительного теплообменника; определяется по эмпирическому выражению, полученному в [1]; Θ_o – то же, что и в выражении (4).

Выражение (4) для определения температуры сетевой воды τ_1 получается в результате совместного решения следующих уравнений:

$$Q_o = \epsilon_o W_c (\tau_1 - t_6^p); \quad (8)$$

$$Q_o = W_c^p \Delta \tau_c^p \beta_{qo}, \quad (9)$$

где ε_o – коэффициент эффективности систем водяного отопления; определяется по эмпирическому выражению, полученному в [1]; W_c – то же, что и в выражении (3); τ_l , t_e^p , W_c^p , $\Delta\tau_c^p$, β_{qo} – то же, что и в выражении (2).

Выражение (6) для определения температуры сетевой воды τ_{lm} выводится путем совместного решения следующих уравнений:

$$Q_o = \varepsilon_m W_{cm} (\tau_{lm} - \tau_{2o}); \quad (10)$$

$$Q_o = W_{cm}^p \Delta\tau_{cm}^p \beta_{qo}; \quad (11)$$

$$Q_o = W_{om}^p \Delta\tau_{om}^p \beta_{qo}, \quad (12)$$

где ε_m – то же, что и в выражении (6); W_{cm} – то же, что и в выражении (3); τ_{lm} , W_{cm}^p , $\Delta\tau_{cm}^p$, β_{qo} , W_{om}^p , $\Delta\tau_{om}^p$ – то же, что и в выражении (2)*; τ_{2o} – то же, что и в выражении (7).

Выражения, раскрывающие физический смысл коэффициентов ε_o и ε_m , получаются путем совместного решения уравнений (8), (9) и (10), (11):

$$\varepsilon_o^p = \Delta\tau_c^p / (\tau_l^p - t_e^p); \quad \varepsilon_o = \Delta\tau_c^p \beta_{qo} / (\tau_l - t_e^p); \quad (13)$$

$$\varepsilon_m^p = \Delta\tau_{cm}^p / (\tau_{lm}^p - \tau_{2o}^p); \quad \varepsilon_m = \Delta\tau_{cm}^p \beta_{qo} / (\tau_{lm} - \tau_{2o}), \quad (14)$$

где величины те же, что и в выражениях (2) и (2)*, (3), (7).

Уравнения (8) и (10) называются уравнениями характеристик теплообменных аппаратов [1].

Как отмечается в [1], эти уравнения нашли применение для решения задачи регулирования отпуска теплоты в водяных СЦТ в связи с тем, что при использовании традиционного уравнения теплопередачи рассматриваемая задача решается методом последовательных приближений.

Однако, как показано ниже, рассматриваемая задача решается аналитически и с использованием уравнения теплопередачи.

В этом случае система уравнений применительно к водяным СЦТ с зависимым присоединением систем водяного отопления имеет вид:

$$Q_o = W_c (\tau_l - \tau_2) = W_c^p \Delta\tau_c^p \beta_{qo}; \quad (15)$$

$$Q_o = k_{np} \Delta t_{np} F_{np}; \quad (16)$$

$$Q_o = W_o (\tau_3 - \tau_2) = W_o^p \Delta\tau_o^p \beta_{qo}, \quad (17)$$

где W_c , W_o – то же, что и в выражениях (3); k_{np} , Δt_{np} , F_{np} – коэффициент теплопередачи ($\text{Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$), температурный напор ($^\circ\text{C}$), площадь поверхности (м^2) отопительных приборов (текущие значения); $\Delta t_{np} = 0,5(\tau_3 + \tau_2) - t_e^p$; τ_3 , τ_2 – текущие температуры воды, соответственно, на входе и выходе из систем водяного отопления, $^\circ\text{C}$; τ_l , τ_2 , W_c^p , $\Delta\tau_c^p$, β_{qo} , t_e^p , W_o^p , $\Delta\tau_o^p$ – то же, что и в выражении (2).

При решении системы уравнений (15)-(17) выполняются следующие преобразования:

$$\beta_{qo} = q_{np} / q_{np}^{max} = (\Delta t_{np} / \Delta t_{np}^p) (\Delta t_{np} / \Delta t_{np}^p)^n = \beta_{qo}^{1/(n+1)} \beta_{qo}^{n/(n+1)}; \quad (18)$$

$$k_{np} = q_{np} / \Delta t_{np} = k_{np}^p (\Delta t_{np} / \Delta t_{np}^p)^n = k_{np}^p \beta_{qo}^{n/(n+1)}; \quad (19)$$

$$Q_o / (k_{np} F_{np}) = \Delta t_{np}^p \beta_{qo}^{1/(n+1)}, \quad (20)$$

где β_{qo} – то же, что и в выражении (2); q_{np} , q_{np}^{max} – соответственно, текущая и расчетная (максимальная) плотность теплового потока отопительного прибора, Вт/м^2 [2, 3]; k_{np} , Δt_{np} , F_{np} – то же, что и в выражении (16); k_{np}^p , Δt_{np}^p – расчетные значения величин k_{np} и Δt_{np} ; n – то же, что и в выражениях (4) и (5).

Решение системы уравнений (15)-(17) с учетом равенства (20) дает ранее представленное выражение (4) для определения температуры τ_l .

При решении задачи, применительно к водяным СЦТ с независимым присоединением систем отопления, уравнение теплопередачи отопительных теплообменников записывается в составе следующих уравнений:

$$Q_o = W_{cm} (\tau_{lm} - \tau_{2m}) = W_{cm}^p \Delta\tau_{cm}^p \beta_{qo}; \quad (21)$$

$$Q_o = k_m \Delta t_m F_m; \quad (22)$$

$$Q_o = W_{om} (\tau_{1o} - \tau_{2o}) = W_{om}^p \Delta\tau_{om}^p \beta_{qo}, \quad (23)$$

где W_{cm} , W_{om} – то же, что и в выражениях (3); τ_{lm} , τ_{2m} , W_{cm}^p , $\Delta\tau_{cm}^p$, β_{qo} , W_{om}^p , $\Delta\tau_{om}^p$ – то же, что и в выражении (2)*; k_m , Δt_m , F_m – коэффициент теплопередачи ($\text{Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$), температурный напор

(°C), площадь теплопередающей поверхности (m^2) отопительных теплообменников (текущие значения); τ_{1o} , τ_{2o} – то же, что и в выражениях (6) и (7).

Величина Δt_m в уравнении (22) определяется по эмпирическому выражению [1]:

$$\Delta t_m = [(1-b)\tau_{1m} + b\tau_{2m}] - [a\tau_{1o} + (1-a)\tau_{2o}], \quad (24)$$

где a , b – коэффициенты, значения которых в зависимости от схемы движения теплоносителей в теплообменнике приведены в [1].

В ходе решения системы уравнений (21)-(23) выполняются следующие преобразования:

$$\Delta \tau_{cm}^p = \Delta \tau_{om}^p (W_{om}^p / W_{cm}^p); \quad (25)$$

$$Q_o / (k_m F_m) = Q_o^{max} \beta_{qo} / (k_m^p F_m) = \Delta t_m^p \beta_{qo} \quad (k_m = const), \quad (26)$$

где Δt_m^p – расчетный температурный напор теплообменников, °C; $\Delta t_m^p = [(1-b)\tau_{1m}^p + b\tau_{2m}^p] - [a\tau_{1o}^p + (1-a)\tau_{2o}^p]$; τ_{1m}^p , τ_{2m}^p ; τ_{2o}^p , τ_{1o}^p – то же, что и в выражении (2*); a , b – то же, что и в выражении (24).

Решение системы уравнений (21)-(23) с учетом равенств (25) и (26) дает следующее выражение для определения температуры τ_{1m} :

$$\tau_{1m} = \tau_{1o} + \Delta t_m^p \Theta_o + \Delta \tau_{om}^p [a + b(W_{om}^p / W_{cm}^p) - 1] \Theta_o, \quad (27)$$

где Δt_m^p – то же, что и в выражении (26); a , b – то же, что и в выражении (24); остальные величины те же, что и в выражении (6).

Чтобы получить ранее представленное выражение (6), необходимо левую часть равенства (26) преобразовать к несколько иному виду. Для этого ее необходимо умножить и разделить на произведение величин: $W_{cm}^p \Delta \tau_{om}^p \beta_{qo}$. Тогда после некоторых преобразований имеем:

$$Q_o / (k_m F_m) = (1/\omega^p) (W_{om}^p / W_{cm}^p) \Delta \tau_{om}^p \beta_{qo}, \quad (26^*)$$

где ω^p – расчетный режимный коэффициент отопительных теплообменников; определяется по эмпирическому выражению, предложенному в [1]; остальные величины те же, что и в выражении (2*).

Из анализа выражений (4) и (5) следует, что в течение отопительного периода температура сетевой воды изменяется по закону слегка кривой линии. Такой закон изменения температуры сетевой воды обусловлен тем, что теплоотдача отопительных приборов с изменением температуры наружного воздуха изменяется нелинейно (см. выражение (19)).

Процедура построения температурных графиков упрощается, если для описания зависимостей (1) и (1*) найдут применение линейные выражения. В этом случае данные графики строятся по двум точкам.

Выражения (4) и (5) становятся линейными при следующих допущениях: $n=0$, $m=1$ ($k_{np}=const$). При отмеченных допущениях после некоторых преобразований выражения (4) и (5) (а также и выражения (6) и (7)) принимают вид:

$$\tau_i = t_g^p + (\tau_i^p - t_g^p) \beta_{qo} \quad (i=1, 1m, 1o; 2, 2m, 2o), \quad (28)$$

где величины те же, что и в выражениях (2) и (2*).

Графики выражения (28), как и графики выражений (4), (5), выходят из точки с координатами: $t_n=t_g^p$, $\tau_1=t_g^p$ и $\tau_2=t_g^p$ ($\tau_{1m}=t_g^p$ и $\tau_{2m}=t_g^p$). Вторая точка, по которой строятся графики выражения (28), имеет координаты: $t_n=t_{ho}$, $\tau_1=\tau_1^p$ и $\tau_2=\tau_2^p$ ($\tau_{1m}=\tau_{1m}^p$ и $\tau_{2m}=\tau_{2m}^p$).

Сравнение результатов расчетов (см. таблицу 1), выполненных по выражениям (4), (5) и (28), показывает на их существенное расхождение в средней части отопительного периода.

В рамках отопительного периода весьма удовлетворительным приближением к выражениям (4) и (5) является уравнение прямой следующего вида:

$$\tau_i = 27 + (\tau_i^p - 27) \beta_{qo} \quad (i=1, 1m, 1o; 2, 2m, 2o), \quad (29)$$

где величины те же, что и в выражениях (2) и (2*).

Графики выражения (29) выходят из точки с координатами: $t_n=t_g^p$, $\tau_1=27^\circ\text{C}$ и $\tau_2=27^\circ\text{C}$ ($\tau_{1m}=27^\circ\text{C}$ и $\tau_{2m}=27^\circ\text{C}$). Вторая точка, по которой строятся графики выражения (29), имеет координаты: $t_n=t_{ho}$, $\tau_1=\tau_1^p$ и $\tau_2=\tau_2^p$ ($\tau_{1m}=\tau_{1m}^p$ и $\tau_{2m}=\tau_{2m}^p$).

В качестве примера в ниже представленной таблице 1 приведены результаты расчетов температурного графика 150-70°C по выражениям (4) и (5), (29), (28) (для $t_{ho}=-25^\circ\text{C}$).

Таблица 1 – Сравнение точного и приближенных решений температурного графика 150-70°C

$t_n, ^\circ\text{C}$	18	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
$t_g^p=18^\circ\text{C}; \Delta t_{np}^p=64,5^\circ\text{C}; \Delta t_c^p=80^\circ\text{C}; \Delta t_o^p=25^\circ\text{C}$										
β_{go}	0	0,070	0,186	0,302	0,419	0,535	0,651	0,767	0,884	1
$\beta_{go}^{0,8}$	0	0,119	0,260	0,384	0,499	0,606	0,709	0,809	0,906	1
Выражения (4) и (5)										
$\tau_1, ^\circ\text{C}$	18	30,4	47,4	63,2	78,5	93,2	107,7	122,0	136,1	150
$\tau_2, ^\circ\text{C}$	18	24,8	32,5	39,0	45,0	50,4	55,6	60,6	65,4	70
$\Delta\tau_c, ^\circ\text{C}$	0	5,6	14,9	24,2	33,5	42,8	52,1	61,4	70,7	80
Выражение (29)										
$\tau_1, ^\circ\text{C}$	27	35,6	49,9	64,1	78,5	92,8	107,1	121,3	135,7	150
$\tau_2, ^\circ\text{C}$	27	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70
$\Delta\tau_c, ^\circ\text{C}$	0	5,6	14,9	24,1	33,5	42,8	52,1	61,3	70,7	80
Выражение (28)										
$\tau_1, ^\circ\text{C}$	18	27,2	42,6	57,9	73,3	88,6	104,0	119,2	134,7	150
$\tau_2, ^\circ\text{C}$	18	21,6	27,7	33,7	39,8	45,8	51,9	57,9	64,0	70
$\Delta\tau_c, ^\circ\text{C}$	0	5,6	14,9	24,2	33,5	42,8	52,1	61,3	70,7	80

Температура наружного воздуха, соответствующая точке излома отопительно-бытового температурного графика, составляет:

$$t_{ni} = t_g^p - ((\tau_{lu} - 27)/(\tau_1^p - 27))(t_g^p - t_{no}), \quad (30)$$

где τ_{lu} – температура сетевой воды в подающей магистрали тепловой сети в точке излома температурного графика, $^\circ\text{C}$; $\tau_{lu}=70$ [1].

Выводы

Задача центрального качественного регулирования отпуска теплоты в водяных СЦТ решена с использованием уравнения теплопередачи. Для решения этой задачи применительно к водяным СЦТ с зависимым и независимым присоединением систем отопления записаны, соответственно, системы уравнений (15)-(17) и (21)-(23). Предложена упрощенная процедура построения температурного графика с использованием уравнения прямой линии (29).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети [Текст]: Учебник для вузов / Е.Я. Соколов. – 8-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 472 с.
2. Богословский, В.Н. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч. I. Отопление: Справочник проектировщика [Текст] / В.Н. Богословский, Б.А. Крупнов, А.Н. Сканами и др.; под ред. И.Г. Старовойрова и Ю.И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.
3. Тихомиров, К.В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция: Учебник для вузов [Текст] / К.В. Тихомиров, Э.С. Сергеев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 480 с.

Горшенин Владимир Петрович

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

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство»

Тел.: +7 (4862) 43-26-30

GORSHENIN V.P.

ANALYSIS OF METHODS OF THE PROBLEM SOLUTION OF CENTRAL QUALITY CONTROL OF HEAT RELEASE IN WATER SYSTEMS OF DISTRICT HEAT SUPPLY

It is stated that the problem under consideration is analytically solved by means of equation of heat exchange apparatus characteristics (the existent solution) as well as by conventional heat transfer

equation. The problem solution results in simultaneous solution of three equations. In the limits of the suggested approach the equations system (except heat-transfer equation) includes heat-flow equation, which is correspondingly given up by heat network is perceived by heating system. Marked heat flows are registered simultaneously after current and calculated differential of heat network temperature. It is suggested to apply the linear law of control of released heat flow in engineering practice at the same time.

Keywords: *heat supply system, heat flow, delivery water consumption, central quality control, the law of changing of heat flow into heating, equation of characteristics, heat transfer equation, equation of heat balance, equation system, delivery water temperature, linear equation, temperature chat.*

BIBLIOGRAPHY

1. Sokolov, E.Ja. Teplofikacija i teplovye seti [Tekst]: Uchebnik dlja vuzov / E.Ja. Sokolov. – 8-e izd., stereot. – M.: Izdatel'skij dom MJeI, 2006. – 472 s.
2. Bogoslovskij, V.N. Vnutrennie sanitarno-tehnicheskie ustrojstva. V 3 ch. Ch. I. Otoplenie: Spravochnik proektirovika [Tekst] / V.N. Bogoslovskij, B.A. Krupnov, A.N. Skanavi i dr.; pod red. I.G. Staroverova i Ju.I. Shillera. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Strojizdat, 1990. – 344 s.
3. Tihomirov, K.V. Teplohnika, teplogazosnabzhenie i ventiljacija: Uchebnik dlja vuzov [Tekst] / K.V. Tihomirov, Je.S. Sergeenko. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Strojizdat, 1991. – 480 s.

Gorshenin Vladimir Petrovich

State university – educational-science-production complex, Orel

Candidate of technical sciences, senior lecturer of department «City building and an economy»

Ph.: +7 (4862) 43-26-30

ЗАЯНЧУКОВСКАЯ Н.В., ЛЕБЕДЕВ Ю.Н.

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ И ВЫБОРУ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Предложен методический подход к оценке и выбору программных средств, используемых для создания трехмерных моделей при проектировании теплоэнергетических объектов. Определены критерии оценки программных продуктов для автоматизированного проектирования теплоэнергетических объектов. Разработана формализованная процедура экспертной оценки и выбора наиболее эффективного варианта, основанная на учете и согласовании мнений экспертов, ранжировании критериев отбора в соответствии с их значимостью для проектирования, вычислении интегральных показателей оценки программных продуктов.

Ключевые слова: методический подход, трехмерная модель, оценка, информационная система, программный продукт.

Создание строительных объектов теплоэнергетики – сложный и многоэтапный процесс, в котором участвуют разные специалисты, отвечающие за отдельные элементы общего проекта. Обеспечение согласованности всех решений, оптимизация информационного обмена между участниками проекта осуществляется в рамках виртуального объекта строительства. В настоящее время при проектировании и строительстве теплоэнергетических объектов широко внедряется концепция непрерывной информационной поддержки жизненного цикла объекта строительства (CALS-технологии). Сбор и обработка информации на различных этапах жизненного цикла обеспечивается с помощью соответствующих информационных систем. Совокупность информационных систем образуют интегрированную информационную среду (ИИС), в которой должна действовать единая система правил представления, хранения и обмена информацией. Для обеспечения интеграции информационных систем используются стандарты электронного обмена данными, STEP. В ИИС действует главный принцип CALS-технологии: информация, однажды возникшая на каком-либо этапе ЖЦ, сохраняется в ИИС и становится доступной всем участникам этого и других этапов (в соответствии с имеющимися у них правами пользования этой информацией) [1]. Единое информационное пространство (ЕИП) позволяет избежать дублирования, перекодировки и несанкционированных изменений данных, сократить затраты труда, времени и финансовых ресурсов на этапе проектирования, согласования и эксплуатации объекта [2].

В общем виде структура информационной системы может быть представлена как совокупность следующих подсистем: функциональных, объектных и документооборота.



Рисунок 1 – Интегрированная информационная среда теплоэнергетического объекта

При создании единого информационного пространства встает проблема выбора программных продуктов, позволяющих не только автоматизировать основные функции, но и наиболее эффективно информационно увязать все функциональные модули системы. В настоящее время на рынке имеется достаточное число программных продуктов, позволяющих создавать графические объекты, отличающиеся функциональными возможностями, удобством эксплуатации, стоимостью. Такие программные продукты отличаются высокой стоимостью и поэтому проблема выбора программного продукта, наиболее полно отвечающего требованиям функциональности и эффективности, встает достаточно остро на этапе проектирования такого сложного технического объекта, каким является объект теплоэнергетики. Оценка и выбор наиболее эффективного программного средства должны осуществляться на основе четко сформулированных критериев, обеспечивающих достижение поставленных целей проектирования. В процессе оценки и выбора наиболее эффективной программной системы принимают участие специалисты разных областей: программисты, проектировщики, менеджеры, руководители организаций. В данной работе сделана попытка формализовать процесс оценки и выбора программных продуктов для создания ИИС на примере систем автоматизированного проектирования (САПР) объекта теплоэнергетики.

Суть предлагаемого подхода состоит в следующем.

Для оценки и сравнения САПР формулируются критерии, определяющие основные требования к программному продукту со стороны пользователей систем. Для САПР объекта теплоэнергетики таковыми критериями могут являться:

1. Учет отраслевых особенностей проектирования, которые могут существенным образом отличаться для различных объектов. Большинство программных продуктов отвечают узким потребностям конкретной отрасли.

2. Возможность коллективной работы над проектом. Проектирование теплоэнергетических объектов не может вестись в одиночку, работают группы проектировщиков различных специальностей, часто географически удаленные друг от друга. Необходимо дополнительно оценивать модульность или не модульность системы. Модульные системы возможно использовать в различных отраслях промышленности. Немодульные системы позволяют работать совместно различным группам проектировщиков над проектом в режиме реального времени.

3. Функциональные возможности программного продукта: возможность многократного использования «типовых» проектов, разработанных в других программах, исследование динамики модели при внесении изменений в on-line, off-line-режимах, время выполнения операций при переводе модели в изометрические чертежи, выявление коллизий (шифрованное, наглядное и т.д.), качество и наглядность проектных решений и др.

4. Возможность интеграции с другими автоматизированными системами: поддержка с широко используемыми в нашей стране программными продуктами фирмы CSoft, отсутствие или присутствие интеграции со смежными системами, поддерживаемые базы данных.

5. Надежность – низкая вероятность отказа программного средства при работе в режиме реального времени. Время и механизмы восстановления после программных и аппаратных отказов. При отказе возможность сохранения копии рабочего документа и т.д.

6. Практичность и удобство применения (простота интерфейса, наличие или отсутствие базы данных российских компонентов). Например, наиболее мощными возможностями проектирования обладает VPD (PDMS), но у этого программного продукта отсутствует русифицированный интерфейс.

7. Проблемы внедрения – необходимость дополнительного обучения проектировщиков, соответствие проектной документации российским нормативам и т.п.

8. Экономические параметры: стоимость программного средства, продление лицензий, техническая поддержка программного продукта со стороны разработчиков (бесплатная или платная), требования к составу и параметрам технических средств.

9. Защищенность от любых негативных воздействий: сохранность данных (надежная архитектура системы), серверный уровень безопасности проектных данных, высокий уровень защиты данных.

Очевидно, что приведенные критерии являются качественными, достаточно сложно формализуемыми, и количественная их оценка возможна только с использованием некоторых шкал. В таблице 1 приведен пример такой шкалы.

Таблица 1 – Шкала оценки параметров качества программного продукта

Показатель	Оценка в баллах
Удовлетворяет на 100%	4
Удовлетворяет на 75%	3
Удовлетворяет на 50%	2
Менее 25%	1

Качественные критерии оценки различаются по своей важности для решения поставленной задачи. В соответствии с этим они могут быть ранжированы, и для каждого из них определяется весовой коэффициент, соответствующий относительной важности данного критерия.

Оценка каждой программы осуществляется группой экспертов, в которую могут входить:

- главный инженер/исполнительный директор по информационным технологиям;
- главные проектировщики отделов, отвечающие за разработку конкретного раздела инвестиционно-строительного проекта;
- начальник отдела САПР;
- директор по инжинирингу;
- начальник производственно-проектного отдела.

Эксперты оценивают программные продукты в соответствии с перечисленными критериями по шкале, приведенной в таблице 1. Следует отметить, что не все эксперты могут квалифицированно дать оценку по всем параметрам тестирования. Оценка согласованности мнений экспертов проводится с использованием показателя ранговой корреляции (коэффициент конкордации М. Кэнделла):

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)},$$

где m – число экспертов; n – число критериев; S – сумма квадратов от средней суммы рангов.

По результатам опроса формируется матрица, строки которой – оценки экспертов для каждого критерия. Для отдельного программного продукта вычисляется интегральная оценка по формуле:

$$K_m = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (\alpha_i \cdot M_{j,i}),$$

где n – число экспертов; $j=1 \dots n$, m – число критериев; $i=1 \dots m$; α_i – весовой коэффициент для i -го критерия, в сумме они составляют 1.

Предпочтение отдается тому программному средству, интегральная оценка которого максимальна.

Предлагаемый подход был использован для оценки трех программных продуктов, широко используемых в мировой практике для проектирования теплоэнергетических объектов. Обработка результатов оценки проводилась в математическом пакете MatcCAD. Значение коэффициента конкордации, равное 0,809, показывает согласованность мнений экспертов. Результаты расчета интегральных оценок (K) с использованием приведенной формулы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Интегральные оценки программных продуктов

Программный продукт	K_t
PLANT – 4D	3,25
VPD (PDMS)	3,01
SmartPlant 3D	2,98

По результатам сравнения наиболее предпочтительной для проектирования теплоэнергетических объектов оказалась система PLANT – 4D. Преимуществами данной системы явля-

ются соответствие российским нормам и стандартам, возможность устранения коллизий и нестыковок различных частей проекта на стадии проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теличенко, В.И. Информационное моделирование технологий и бизнес-процессов в строительстве [Текст] / В.И. Теличенко, А.А. Липидус, А.А. Морозенко / Научное издание. – М.: АСВ. – 2008. – 144 с.
2. Романов, А.Н. Информационные системы в экономике: учеб. пособие [Текст] / Под ред. проф. А.Н. Романова, проф. Б.Е. Одинцова – М.: Вузовский учебник, 2008. – С. 411.
3. Режим доступа: <http://www.csoft.ru>.

Заянчук Наталья Вячеславовна

ГОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация, экономика и управление производством»
Тел.: +7 (4932) 24-20-30
E-mail: zanataly@mail.ru

Лебедев Юрий Николаевич

ГОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Аспирант кафедры «Организация, экономика и управление производством»
Тел.: +7 (4932) 41-58-71
E-mail: yurilebedev@rambler.ru

ZAYANCHUKOVSKAYA N.V., LEBEDEV U.N.

CONSIDERATION ON AN APPROACH TO ESTIMATION AND CHOICE OF SOFTWARE FOR CREATING INFORMATION MODELS FOR OBJECTS OF HEAT AND POWER ENGINEERING

The methodical conception of evaluation and selection of software tools for three-dimensional models creation being used for thermal power facilities design has been offered. Software tools evaluation criteria have been defined. Peer review and the most effective option selection procedures have been developed and formalized. The procedure is based on: experts opinion integration and coordination; criteria ranking according to their relevance to the design; integral indicators for software products evaluation calculation.

Keywords: *the methodical approach, three-dimensional model, estimation, information system, software product.*

BIBLIOGRAPHY

1. Telichenko, V.I. Informacionnoe modelirovanie tehnologij i biznes-processov v stroitel'stve [Tekst] / V.I. Telichenko, A.A. Lapidus, A.A. Morozenko / Nauchnoe izdanie. – M.: ASV. – 2008. – 144 s.
2. Romanov, A.N. Informacionnye sistemy v jekonomike: ucheb. posobie [Tekst] / Pod red. prof. A.N. Romanova, prof. B.E. Odincova – M.: Vuzovskij uchebnik, 2008. – S. 411.
3. Rezhim dostupa: <http://www.csoft.ru>.

Zajanchukovsky Natalia Vjacheslavovna

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo
Candidate of technical sciences, senior lecturer of department «Organization, economy and production management»
Ph.: +7 (4932) 24-20-30
E-mail: zanataly@mail.ru

Lebedev Yuri Nikolaevich

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo
Post-graduate student of department «Organization, economy and production management»
Ph.: +7 (4932) 41-58-71
E-mail: yurilebedev@rambler.ru

КОБЕЛЕВА С.А.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ

Концепция ресурсо- и энергосбережения зданий создается при проектировании. В статье рассмотрены методические подходы проектирования зданий на основании двух методических подходов: строительного и функционального. В строительном подходе здание рассматривается как строительный объект – совокупность объемно-планировочных, конструктивных решений, методов возведения, то есть внимание акцентируется на стадии проектирования и строительства. В рамках функционального подхода здание представляет собой товар на рынке недвижимости с заданными потребительскими характеристиками: полезностью, долговечностью, неповторимостью и другими, в том числе ресурсо- и энергоэффективностью. В основу функционального подхода положены эксплуатационные характеристики объектов капитального строительства. Итоговая ресурсо- и энергоэффективность здания включает как строительную, так и эксплуатационную составляющие.

Ключевые слова: ресурсо- и энергосбережение, проектирование, методические подходы.

Основываясь на процессном подходе, жизненный цикл здания подчиняется определенным закономерностям и включает следующие укрупненные стадии: проектирование и строительство, эксплуатацию, прекращение существования (снос, естественное разрушение и т.п.). Этот подход применим также для решения задач ресурсо- и энергосбережения зданий, поскольку ресурсы используются при выпуске промежуточной строительной продукции (строительных материалов, изделий, конструкций), строительстве зданий в объеме проектной и рабочей документации, в процессе их эксплуатации и последующей ликвидации. Безусловно, с позиций ресурсо- и энергосбережения ведущая роль принадлежит проектированию и строительству, так как их накопленный результат, «отложенный эффект» проявляется на стадии эксплуатации зданий – самого длительного временного периода в жизненном цикле здания.

Вместе с тем ощущается нехватка информации о научных подходах, на основе которых проектируются ресурсо- и энергоэффективные здания. Проектирование зданий относится к задачам «системного анализа» [1], поиск решения которых связан с выбором альтернативы и требует анализа сложной научно-технической информации. Проектирование ресурсо- и энергоэффективных зданий охватывает вопросы энергосбережения на всех стадиях жизненного цикла строительной продукции, экологию использования земельного участка, проблемы водосбережения, утилизации отходов, транспортной доступности, использования в строительстве экологически безопасных материалов и т.п. Энергосберегающие конструкции зданий вместе с эффективным сохранением заданного микроклимата в помещениях и снижением ресурсоемкости при их изготовлении, монтаже также должны быть экологически чистыми за счет использования биосферосовместимых технологий.

В работах [2, 3] сформулированы основные принципы для формирования проектных решений энергоэффективных зданий:

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

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

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

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

5) Инженерно-технические (применение технических решений и оборудования, позволяющих устранить или сократить избыточные затраты на нагрев, охлаждение и вентиляцию помещений, избыточное водопотребление и освещение, внедрение новых инженерных систем, энергоисточников, оборудования, контрольно-измерительных приборов, устранение потерь в сфере ЖКХ при транспортировке тепло-, энергоносителей, воды и т.п.).

Принимая во внимание перечисленные выше принципы, выбор направления ресурсо- и энергосбережения при проектировании зданий может осуществляться на основании следующих методических подходов: строительного и (или) функционального.

В строительном подходе здание рассматривается как строительный объект – совокупность объемно-планировочных, конструктивных решений, методов возведения (технологии, машины и механизмы, качество, продолжительность работ и т.п.), т.е. внимание акцентируется на стадии проектирования и строительства. При этом резервы ресурсо- и энергосбережения образуются за счет снижения энергоемкости возведения здания, однако, практически не учитывается эффект на стадии эксплуатации здания.

Для строительного подхода в обобщенном виде целевую функцию ресурсо- и энергоэффективности проектных решений можно записать в виде:

$$I_{\text{стр.}} = f(a_i, c_i, t_i),$$

где $I_{\text{стр.}}$ – показатель ресурсо- и энергоэффективности проектного решения для строительного подхода; a_i, c_i, t_i – показатели объемно-планировочных, конструктивных решений, организационно-технических мероприятий при возведении, соответственно, обеспечивающие принятое в проекте ресурсо- и энергосбережение.

В рамках функционального подхода здание представляет собой товар на рынке недвижимости с заданными потребительскими характеристиками: полезностью, долговечностью, неповторимостью и другими, в том числе ресурсо- и энергоэффективностью, которые при проектировании достигаются архитектурно-строительными решениями, инженерными методами (отопление, вентиляция, кондиционирование, энергообеспечение и т.п.). Функциональным подходом оценки результативности применяемых в проектах ресурсо- и энергосберегающих решений следует производить исходя из требований эксплуатации (потребителя):

$$I_{\text{функ.}} = q_1/q_2,$$

где q_1 – ресурсо- и энергозатраты здания-аналога (базисного варианта); q_2 – ресурсо- и энергозатраты для проектируемого объекта.

Например, в стандарте организации [4, п. 1.10] для ограждающих конструкций соотношение $q_1/q_2 \geq 2$.

Таким образом, в основу функционального подхода положены эксплуатационные характеристики объектов капитального строительства. Функциональный подход позволяет решить задачу «отложенного эффекта» от реализации мер ресурсо- и энергосбережения при проектировании и строительстве зданий.

При разработке проектной и рабочей документации на строительство, реконструкцию, ремонт объектов капитального строительства формируются основные технико-экономические показатели:

- рациональности объемно-планировочных и конструктивных решений;
- расход строительных материалов, изделий, конструкций;
- эксплуатационные и потребительские, в том числе топливно-энергетические, что в дальнейшем определяет затраты на управление и эксплуатацию здания;
- продолжительность и трудоемкость работ;
- сметная стоимость.

Проект организации строительства содержит описание организационно-технологических мероприятий и методов производства строительно-монтажных, специальных работ. От принятых в этом разделе проектных решений зависит суммарная энергоемкость на стадии возведения здания. Топливо-энергетические, природно-сырьевые ресурсы расходуются на производство строительных материалов, изделий, конструкций; их доставку на строительную площадку с помощью различных видов транспорта; организацию работ (освещение площадки и участков работ, отопление временных зданий и т.п.); обеспечение технологических процессов (оттаивание грунта, трубопроводов, электропрогрев бетона и т.п.); работу машин и механизмов (подъемно-

транспортных, средств малой механизации, электрического инструмента). Кроме того, ресурсы используются в смежных отраслях: промышленность строительных материалов, транспорт, машиностроение, производство электрической и тепловой энергии и других.

Таким образом, концепция ресурсо- и энергосбережения создается на стадии проектирования. Итоговая ресурсо- и энергоэффективность здания включает как строительную, так и эксплуатационную составляющие. При проектировании ресурсо- и энергоэффективных зданий целесообразно комплексное применение двух взаимосвязанных методических подходов: строительного и функционального.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Табунщиков, Ю.А. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач // АВОК. – 1998. – №1. – С. 12-14.
2. Молодкин, С.А. Принципы формирования архитектуры энергоэффективных высотных жилых зданий: автореферат дис. ... канд. архитектуры. – Москва: ЦНИИПромзданий, 2007. – 22 с.
3. Смирнова, С.А. Принципы формирования архитектурных решений энергоэффективных жилых зданий: автореферат дис. ... канд. архитектуры. – Н.Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2009. – 18 с.
4. СТО 17532043-001-2005. Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий. – М.: РНТО строителей, 2006. – 49 с.

Кобелева Светлана Анатольевна

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

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и материалы»

E-mail: ksa92@ya.ru

KOBELEVA S.A.

METHODICAL APPROACHES OF PLANNING OF RESOURCES- AND ENERGY-EFFECTIVE BUILDING

Conception of resource- and energy-savings of building created at planning. In the article methodical approaches of planning of building are considered on the basis of two methodical approaches: building and functional. In building approach, building is examined as a building object – the aggregate of by volume of plan, structural decisions, methods of erection, id est attention, is accented on the stage of planning and building. Within the framework of functional approach, building is a commodity at the property market with the set consumer descriptions: by an utility, longevity, uniqueness et al, including resource- and energy-effective. Operating descriptions of objects of capital building are fixed in basis of functional approach. Final resource- and energy-effective includes both building and operating constituents.

Keywords: resource- and energy-savings, planning, methodical approaches.

BIBLIOGRAPHY

1. Tabunwikov, Ju.A. Nauchnye osnovy proektirovaniya jenergojeffektivnyh zdaniy / Ju.A. Tabunwikov, M.M. Brodach // AVOK. – 1998. – №1. – S. 12-14.
2. Molodkin, S.A. Principy formirovaniya arhitektury jenergojeffektivnyh vysotnyh zhilyh zdaniy: avtoreferat dis. ... kand. arhitektury. – Moskva: CNIIPromzdaniy, 2007. – 22 s.
3. Smirnova, S.A. Principy formirovaniya arhitekturnyh reshenij jenergojeffektivnyh zhilyh zdaniy: avtoreferat dis. ... kand. arhitektury. – N.Novgorod: Nizhegorodskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2009. – 18 s.
4. СТО 17532043-001-2005. Normy teplotehnicheskogo proektirovaniya ograzhdajuvih konstrukcij i ocenki jenergojeffektivnosti zdaniy. – M.: RNTTO stroitelej, 2006. – 49 s.

Kobeleva Svetlana Anatolevna

State university – educational-science-production complex, Orel

Candidate of engineering sciences, associate professor of department, is the «Building constructions and materials»

E-mail: ksa92@ya.ru

КОЛЧУНОВ Вл.И., КЛЮЕВА Н.В., БУХТИЯРОВА А.С.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ УЗЛОВ СОПРЯЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАРКАСОВ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ЗАПРОЕКТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Предложен подход к анализу напряженно-деформированного состояния узла сопряжения железобетонных рамных конструкций, который вместе с рассмотренным вариантом деформационной теории пластичности бетона, позволяет ввести более обоснованные критерии их сопротивления не только в предельной, но и в запредельной стадии. При этом должное внимание уделено специфике сопротивления бетона узловой зоны, связанной с ее повышенной деформативностью, что заметно приближает расчет к реальной оценке происходящих здесь явлений.

Ключевые слова: запроектные воздействия, пространственные рамные конструкции, узел сопряжения.

Повышение качества безопасности проектируемых конструкций при более экономичном использовании материальных ресурсов, оценка надежности эксплуатируемых и усиливаемых сооружений остается на сегодня одной из важнейших задач строительной отрасли. В последнее время в научно-технических публикациях обсуждается проблема конструктивной безопасности и живучести сооружений [1, 2].

Принципы проектирования, безопасности, надежности и долговечности зданий и сооружений базируются на результатах научных исследований 60-80-х годов прошлого столетия. В современных условиях, когда с одной стороны многократно возросли техногенные, природные и даже воздействия террористического характера, с другой – большинство существующих зданий и сооружений страны изношено на 60-70%, а тысячи объектов исчерпали свой ресурс, необходимы новые знания о методах обеспечения безопасности зданий и сооружений от указанных так называемых «запроектных» воздействий. В настоящее время не изучены механизмы и закономерности внезапных структурных изменений в нагруженных конструктивных системах из упруго-хрупкопластичных материалов при возникновении запроектных воздействий и механизмы сопротивления несущих систем в запредельных состояниях. Одна из ключевых научных задач исследований в указанном направлении – установление закономерностей статикодинамического деформирования конструкционных материалов, обладающих дилатационными свойствами (в частности бетона) при различных режимах нагружения.

Живучесть конструктивной системы характеризуется сопротивляемостью разрушению конструктивной системы после достижения одним из элементов этой системы предельного состояния при приложении внезапных запроектных внешних воздействий.

До сегодняшнего дня не решены задачи живучести сложных конструктивных систем, например, каркасов многоэтажных зданий, пространственных конструкций покрытий и перекрытий и других сооружений. Характерным фрагментом каркаса многоэтажного здания является пространственная система, включающая перекрестные ригели и колонны (рис. 1). Такой фрагмент при расчете сложных пространственных систем может использоваться в качестве расчетной схемы второго уровня для детального изучения деформирования и разрушения железобетонных элементов при запроектных воздействиях. При этом в качестве выключающихся элементов могут рассматриваться не только моментные, но и линейные связи.

При расчете деформирования и разрушения конструкций в запредельных состояниях помимо сложностей, связанных с одномоментным (мгновенным) характером запроектных воздействий и изменением свойств материалов при таких воздействиях, определенные сложности возникают в связи с необходимостью учета двойной, а иногда и тройной нелинейности деформирования конструкций в запредельных состояниях. Так, если при эксплуатационной

нагрузке верхняя зона пространственного узла испытывает растяжение, то после внезапного выключения средней стойки сверху и снизу узла, напряжения в верхней зоне узла становятся сжимающими (рис. 2).

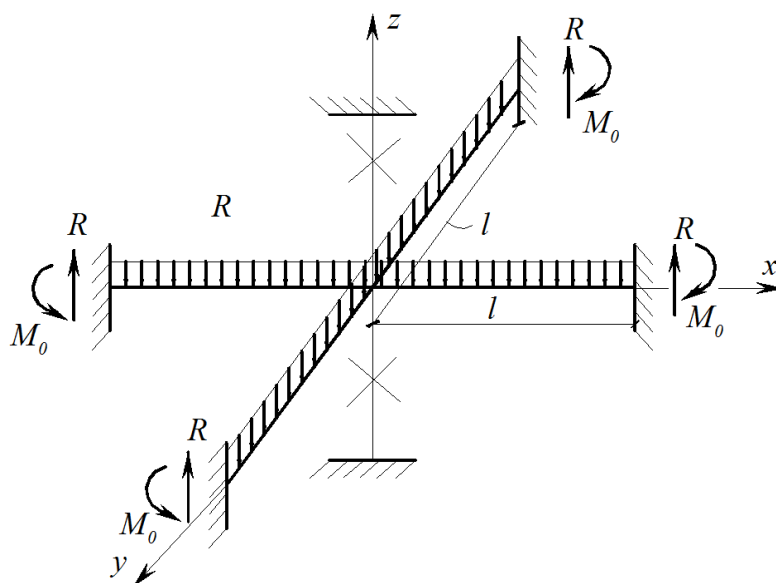


Рисунок 1 – Характерный фрагмент пространственного каркаса многоэтажного здания, включающий перекрестные ригели и колонны при внезапном выключении средней стойки сверху и снизу узла

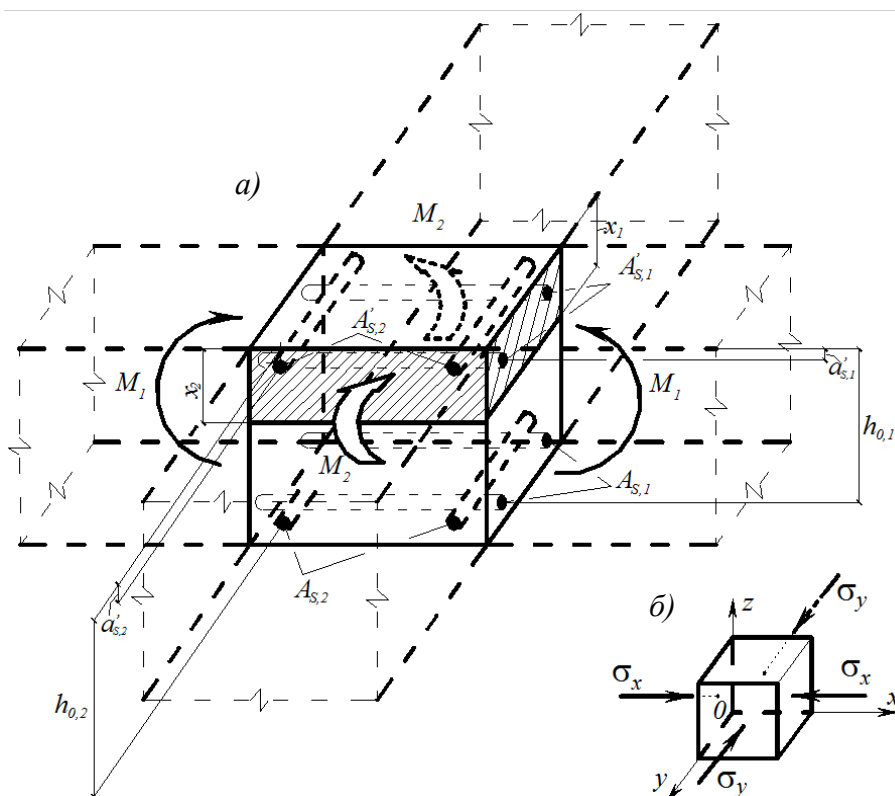


Рисунок 2 – Схема сопротивления пространственного узла после внезапного выключения средней стойки сверху и снизу узла: а – расчетная схема; б – напряженное состояние бетона сжатой зоны

Прежде чем перейти к а) у сопротивления пространственного узла при запроектных воздействиях, целесообразно выполнить анализ расчетной схемы узла при проектной нагрузке и заданной исходной конструктивной схеме, т.е. приведенную на рисунке 1 до вы-

ключения средней стойки сверху и снизу узла. Дело в том, что, если в строительной механике сопряжение в узле принято жестким, то применительно к железобетонному монолитному узлу принятие такого условия приведет к весьма существенному искажению узловых моментов, что, в свою очередь, отразится на перераспределении усилий в многоэтажном пространственном каркасном здании.

Действительно в углах узла имеет место концентрация напряжений, которая безусловно вызовет появление трещин, распространяющихся вдоль граней центральной колонны сверху вниз (рис. 3), что приведет к повышенной деформативности узлового сопряжения. В расчетной схеме это можно учесть с помощью податливых шарниров – заделок, примыкающих с обеих сторон к узлу (рис. 3, б), как в направлении оси x , так и в направлении оси y . Таким образом, представляется возможным учет податливости в узле сопряжения, при этом дополнительные углы поворота $\Delta\varphi_{crc}$ определяются в соответствии с рисунком 3, з по формуле:

$$\Delta\varphi_{crc} = \frac{a_{crc,u}}{h_0 - x_{crc}}. \quad (1)$$

Здесь

$$a_{crc,u} = a_{crc} \cdot \frac{P_u}{P_{op}}, \quad x_{crc} = \left(1 - \frac{0,7}{100\mu + 1}\right) \cdot x_{fact,m}; \quad (2)$$

a_{crc} может быть вычислено по любой из существующих методик, в том числе и по методике норм [3].

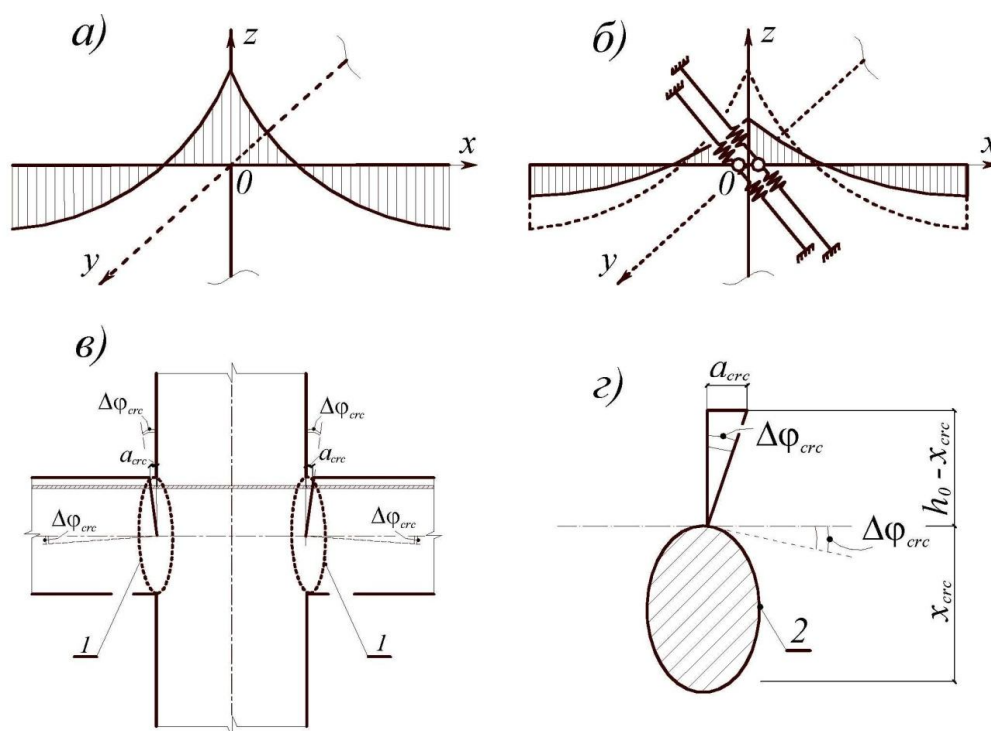


Рисунок 3 – К учету повышенной деформативности узлового сопряжения рамного железобетонного узла при его проектировании (эпюры моментов вдоль оси y условно не показаны): а – расчетная схема с жестким сопряжением, принятая в строительной механике; б – то же, при учете податливости сопряжения; в – возникновение трещин в углах узла, вызванное концентрацией напряжений и приводящее к повышенной деформативности узлового сопряжения; г – определение дополнительного угла поворота $\Delta\varphi_{crc}$. 1 – зоны повышенной деформативности; 2 – зоны кинематического поворота в сжатом бетоне

Аналогично находится дополнительный угол поворота $\Delta\varphi_{crc}$ и для второго направления – вдоль оси y (на рисунке 3 эпюры моментов, трещины и дополнительные углы поворота в

этом направлении условно не показаны, чтобы не загромождать рисунок, они аналогичны приведенным в направлении оси x).

Теперь, располагая дополнительными углами поворота $\Delta\varphi_{crc}$, их необходимо учесть при составлении уравнений строительной механики для соответствующих связей и направлений. При этом применительно к методу сил перемещение в направлении m -й связи примет вид:

$$X_1\delta_{m1} + X_2\delta_{m2} + \dots + X_k\delta_{mk} + \dots + X_n\delta_{mn} + \Delta_{mp} = \Delta\varphi_{crc}, \quad (3)$$

а применительно к методу перемещений соответствующее условие равновесия m -го узла с податливой заделкой примет вид:

$$Z_1r_{m1} + Z_2r_{m2} + \dots + Z_kr_{mk} + \dots + Z_nr_{mn} + R_{mp} + R_{m\Delta\varphi} = 0, \quad (4)$$

где $R_{m\Delta\varphi}$ – опорный момент или опорная реакция (в зависимости от используемого условия равновесия) в m -ом узле от поворота этого узла на угол $\Delta\varphi_{crc}$; $R_{m\Delta\varphi}$ определяется по обычной таблице расчета рам методом перемещений с заменой в соответствующих формулах параметра φ на $\Delta\varphi_{crc}$.

Таким образом, учитывается перераспределение моментов в многоэтажном пространственном каркасном здании при эксплуатационной расчетной схеме, относительно которого затем уже выполняется анализ и расчет запредельной стадии. При этом также можно учесть и влияние наличия трещин в соответствующих зонах узла, которые закрываются при смене знака моментов в запроектной стадии.

Для расчета несущей способности узла в запредельной стадии необходимо иметь значение напряжений и предельных деформаций в бетоне сжатой зоны узла (см. рис. 1) в соответствующем направлении. Как его получить при учете пластических деформаций, обусловленных в бетоне накоплением уровня микротрещинообразования? Как при этом принять характер изменения коэффициента поперечных деформаций при учете сложного напряженного состояния узловой зоны? Чтобы ответить на поставленные и многие другие вопросы, необходимо опереться на современную теорию прочности бетона, которая бы учитывала весьма не простую специфику такого материала, как бетон.

Анализ эволюции наиболее известных механических теорий прочности для бетона, приведенный в работах [4, 5], а также результатов описанных в них экспериментов, позволяет сосредоточить внимание на следующих основных результатах.

Основные качественные особенности, обнаруживаемые экспериментальным путем для каменных материалов и бетона, заключаются в том, что для этих материалов в зависимости от типа напряженного состояния характерны два вида разрушения: от отрыва по плоскости, перпендикулярной действующей силе, и путем сдвига по наклонной площадке, статически наиболее близкой к октаэдрической.

Так как $\gamma_{окт}$ и $\tau_{окт}$ с точностью до числового коэффициента совпадают с величинами σ_i и ε_i , то следствием из этого результата является необходимость привлечения диаграммы σ_i - ε_i для описания напряженно-деформированного состояния бетона при сложных напряженных состояниях. При этом диаграмму σ_i - ε_i совсем не обязательно связывать (ставить в соответствие) с одноосным растяжением (как это сделано в теории пластичности), для бетона представляется более логичным осуществлять такую связь с одноосным сжатием, как подверженному более точному (на порядок) измерению в экспериментальных исследованиях. Тогда деформационные характеристики (параметры) растяжения могут быть получены, как эквивалентные через сжатие и коэффициент поперечных деформаций $\mu(\lambda)$. Такой подход при достаточно точном определении $\mu(\lambda)$ позволит не только значительно уточнить оценку предельного напряженно-деформированного состояния бетона, но и построить такие зависимости для области, где реализуется ниспадающая ветвь диаграммы «напряжения – деформации», т.е. не только при микротрещинообразовании, но и после прохождения его верхней границы $R_{crc,v}$.

После нарушения сплошности бетона возникает необходимость учета увеличения объема бетона за счет раскрытия трещин. Одной из первых попыток такого учета являются иссле-

дования эффекта дилатации. Однако использование при этом постоянного коэффициента поперечных деформаций бетона приводит к весьма грубым приближениям при таком подходе, тем более, что неучет ориентации трещин затрудняет здесь получение стабильных результатов даже с привлечением статистик. Здесь наиболее перспективным после нарушения сплошности бетона является привлечение методов механики разрушения [4].

Зависимость $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$ включает в себя как частный случай теорию прочности Мора, соответствует гипотезе Надаи, вписывается в критерий прочности Г.А. Гениева [5], отвечает второй форме разрушения от сдвига, замеченной в опытах.

Анализ сопротивления бетонной призмы, приведенный в [4], показывает, что кроме разрушения от развития магистральной трещины причиной разрушения может быть достижение деформациями сдвига на октаэдрических площадках своих предельных значений. При этом предельные деформации, равные ε_{bu} , являясь величиной постоянной, будут служить эквивалентной характеристикой исчерпания несущей способности двухконсольной схемы механики разрушения. Следует отметить, что при деформационном режиме нагружения для рассматриваемой области напряженных состояний необходимость использования двухконсольной схемы возникает лишь для определения поперечных перемещений в окрестности трещин. Что же касается вопроса прочности, то здесь можно воспользоваться эквивалентным параметром ε_{bu} , который вместе с деформациями ε_{bR} , соответствующими максимальным напряжениям R_b , с успехом поддается нормированию (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов из трехкомпонентного бетона [6]

R_b , МПа	$E_b \cdot 10^{-4}$, МПа	$\varepsilon_{bR} \cdot 10^5$	$\varepsilon_{bu} \cdot 10^5$	β
46,8	3,79	189	248	0,93
32,9	3,41	178	382	0,806
26,7	3,19	203	402	0,566
17,9	2,7	159	441	0,43
13,3	2,74	175	522	0,461
8,5	1,83	168	559	0,342

Обработка результатов испытаний и проведенный анализ [4] позволили выполнить аппроксимацию диаграмм σ_i - ε_i и $\mu(\lambda)$ - ε_i (рис. 4). Здесь криволинейный участок диаграммы σ_i - ε_i описывается квадратной параболой, а прямолинейные – в виде линейных функций [4].

Для сложного сопротивления в качестве критерия прочности предложен критерий [4]

$$\varepsilon_i \leq \varepsilon_{bu}, \quad (5)$$

где ε_i – интенсивность деформаций укорочения бетона, связанная с октаэдрическими сдвигами.

В области напряженных состояний двухосного сжатия, кроме критерия (4), ранее может сработать ограничение, связанное с исчерпанием поперечных деформаций (применительно к рассматриваемой задаче в направлении оси z), реализуемое в виде отрыва и последующего выкола бетона:

$$\varepsilon_z \leq \varepsilon_{bt,ul}, \quad (6)$$

где $\varepsilon_{bt,ul}$ – предельные деформации бетона растяжению; для области двухосного сжатия поперечные деформации в направлении оси z равны $\varepsilon_{bt,ul} = 0,5\varepsilon_{b,R}$.

Тогда из диаграмм (см. рис. 4) могут быть определены $\varepsilon_{crc,0}$, $\varepsilon_{crc,y}$ и $\mu(\lambda)$ и $E(\lambda)$.

Использование диаграмм σ_i - ε_i и $\mu(\lambda)$ - ε_i (см. рис. 4) позволяет с успехом использовать применительно к бетону отлаженные зависимости механики твердого деформируемого тела.

Применительно к рассматриваемой задаче вследствие разрушения колонн по схеме 1 (см. рис. 1) узел сопряжения ригелей будет находиться в плоском напряженном состоянии (см.

рис. 2), при $\sigma_1 = \sigma_2$ (так как $l_x = l_y$; при этом $\tau_{xy} = 0$); $\sigma_3 = 0$. Подставляя эти условия в формулу определения σ_i получим:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \sigma_1. \quad (7)$$

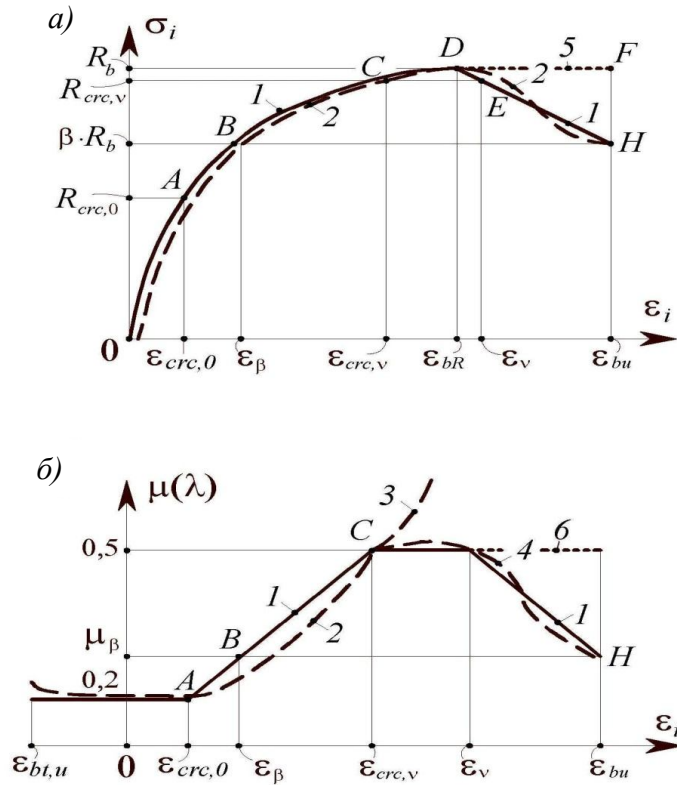


Рисунок 4 – Диаграммы связи «напряжения-деформации» (а) и коэффициент поперечных деформаций (б) для бетона: 1 – расчетные; 2 – построенные по опытным данным; 3 – то же, с учетом магистральных трещин между столбами; 4 – то же, с замером деформаций лишь в пределах столбов; 5, 6 – упрощения для инженерного расчета

Когда σ_i достигает своих максимальных значений, равных R_b , в соответствии с зависимостью $\sigma_i - \epsilon_i$ (см. рис. 4, а) будем иметь, что $\sigma_i = \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_x = \sigma_y = R_b$.

При этом

$$\mu(\lambda) = 0,5;$$

$$\epsilon_1 = \frac{1}{E(\lambda)} \cdot [\sigma_1 - \mu(\lambda) \cdot (\sigma_2 + \sigma_3)] = \frac{1}{E(\lambda)} \cdot (\sigma_1 - \mu(\lambda) \cdot \sigma_2); \quad (8)$$

$$\epsilon_2 = \frac{1}{E(\lambda)} \cdot [\sigma_2 - \mu(\lambda) \cdot (\sigma_1 + \sigma_3)] = \frac{1}{E(\lambda)} \cdot (\sigma_2 - \mu(\lambda) \cdot \sigma_1). \quad (9)$$

Учитывая, что $\sigma_1 = \sigma_2$, будем иметь:

$$\epsilon_1 = \epsilon_2 = \frac{\sigma_1}{E(\lambda)} \cdot (1 - \mu(\lambda)). \quad (10)$$

$$\epsilon_3 = \frac{1}{E(\lambda)} \cdot [\sigma_3 - \mu(\lambda) \cdot (\sigma_1 + \sigma_2)] = -\frac{\mu(\lambda)}{E(\lambda)} \cdot (\sigma_1 + \sigma_2) = -\frac{2\mu(\lambda) \cdot \sigma_1}{E(\lambda)}. \quad (11)$$

Теперь представляется возможным определить интенсивность деформаций ϵ_i :

$$\epsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2}. \quad (12)$$

После этого находим параметр $E(\lambda)$:

$$E(\lambda) = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_{i,T}}. \quad (13)$$

Расчет повторяется до тех пор пока заданные значения $E(\lambda)$ и $\mu(\lambda)$ не совпадут с вычисленными в рамках принятой погрешности.

На диаграмме (рис. 5) сжатие принято со знаком плюс, растяжение – со знаком минус. Здесь $m = \varepsilon_i / \varepsilon_3$. Это отношение служит основной характеристикой напряженного состояния. Изменяя интенсивность последнего при $m = \text{const}$, получим на графике луч, выходящий из начала координат и наклоненный к оси ε_3 под углом α , тангенс которого равен m . С помощью этого луча учитывается и ниспадающая ветвь деформирования, что особенно важно для статически неопределимых конструкций.

Проецирование диаграммы $\sigma_{bi} - \varepsilon_{bi}$ на любые оси, например, на оси $\sigma_x - \varepsilon_x$, не вызывает затруднений [4].

Направление луча нагружения на диаграмме механического состояния (см. рис. 5):

$$m = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_3}. \quad (14)$$

Параметр ε_{bR} принимается по таблице 1. Деформационному разрушению в направлении оси i соответствует (является эквивалентным) деформационный отрыв в направлении оси 3.

Тогда

$$m_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_{i,R}}{\varepsilon_{3,R}} = \frac{\varepsilon_{bR}}{\varepsilon_{3,R}}. \quad (15)$$

$$\varepsilon_{3,u} = \frac{\varepsilon_{3,R} \cdot \varepsilon_{bu}}{\varepsilon_{b,R}}. \quad (16)$$

Проецирование ограничения $\varepsilon_{3,u}$ на ось ε_i осуществляется с помощью луча нагружения на диаграмме механического состояния бетона. Для этого рассматривая образовавшиеся треугольники, отсекаемые рабочим лучем OA на диаграмме механического состояния бетона (см. рис. 5), будем иметь:

$$\varepsilon_{bu,\text{lim}} = \frac{\varepsilon_i \cdot \varepsilon_{3,u}}{\varepsilon_3}. \quad (17)$$

Теперь получим коэффициент $k_{\varepsilon,i}$:

$$k_{\varepsilon,i} = \frac{\varepsilon_{bu,\text{lim}}}{\varepsilon_{bu}}. \quad (18)$$

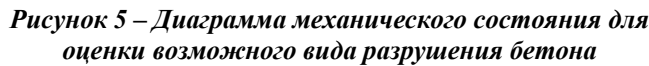
В итоге представляется возможным получить коэффициент $k_{\varepsilon,x}$, используемый в расчетных формулах для определения предельных внутренних моментов в направлении оси x и y :

$$\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_i} = \frac{\varepsilon_{x,0,ul}}{\varepsilon_{bu}}; \quad \varepsilon_{x,0,ul} = \frac{\varepsilon_x \cdot \varepsilon_{bu}}{\varepsilon_i}; \quad (19)$$

$$\frac{\varepsilon_{x,0,ul}}{\varepsilon_{i,u}} = \frac{\varepsilon_{x,0,ul,\text{lim}}}{\varepsilon_{bu,\text{lim}}};$$

$$\varepsilon_{x,0,ul,\text{lim}} = \frac{\varepsilon_{x,0,ul} \cdot \varepsilon_{bu,\text{lim}}}{\varepsilon_{i,u}} = k_{\varepsilon,i} \cdot \varepsilon_{x,0,ul} = k_{\varepsilon,i} \cdot \varepsilon_{bu} \cdot \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_i}. \quad (20)$$

Равенство коэффициентов $k_{\varepsilon,i}$ и $k_{\varepsilon,x}$ указывает на то, что в качестве характера нагружения используется простое нагружение.


$$\sigma_x = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_{bu,\text{lim}}} \cdot \frac{1}{1 - \mu^2(\lambda)} [\varepsilon_{x,0,ul,\text{lim}} + \mu(\lambda) \varepsilon_{y,0,ul,\text{lim}}]. \quad (21)$$

Выше был рассмотрен случай сопротивления узла при одинаковом нагружении ригелей в направлении оси x и оси y по схеме 1 при $l_x = l_y$; $\tau_{xy} = 0$; $\sigma_3 = 0$. $\sigma_1 = \sigma_2$. В тех случаях, когда нагружение ригелей в направлении оси x и оси y разное (или когда пролеты разные) соотношение между σ_1 и σ_2 изменится. Проанализируем, к чему это может привести с точки зрения возможного увеличения предельного значения главного напряжения (которое отразится и в напряжениях в направлении координатных осей, используемых для оценки предельных моментов).

№5 (37) 2011 (сентябрь-октябрь)

Тогда учитывая, что для рассматриваемой задачи всегда $\sigma_3 = 0$, а σ_i вычисляется по формуле (7), получим:

$$R_b^2 = 0,5 \cdot (\sigma_1^2 - 2\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2 + \sigma_2^2 + \sigma_1^2). \quad (22)$$

Откуда следует:

$$\sigma_2 = 0,5\sigma_1 \pm \sqrt{R_b^2 - 0,75\sigma_1^2}. \quad (23)$$

Анализ выражения (23) показывает, что увеличение главного сжимающего напряжения необходимо ограничить:

$$R_b^2 - 0,75\sigma_1^2 \geq 0 \quad (23)$$

$$\text{или } \sigma_1 \leq \frac{R_b}{0,87} = 1,15R_b. \quad (24)$$

Таким образом, возможное увеличения предельного значения главного напряжения в любом случае не будет превышать 15%.

Теперь, располагая этими параметрами, представляется возможным определить все необходимые расчетные параметры поперечного сечения узла изгибаемой составной железобетонной конструкции при принятой эпюре средних деформаций бетона и арматуры (x , σ_s , σ_b) с учетом средних условных сосредоточенных взаимных смещений бетона $\varepsilon_{q,b}$ в шве между бетонами.

Высота сжатой зоны бетона x определяется из уравнения равновесия суммы проекций всех сил на ось X ($\sum X = 0$):

$$k_{\sigma,x} \cdot R_b \cdot b \cdot x + R_{sc} \cdot A_s' - \sigma_s \cdot A_s = 0;$$

$$x = \frac{\sigma_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A_s'}{k_{\sigma,x} \cdot R_b \cdot b}. \quad (25)$$

Из гипотезы плоских сечений для составного железобетонного стержня, отыскиваются напряжения в растянутой арматуре σ_s и сжатой арматуре σ_s' :

$$\frac{\varepsilon_{bu,x}}{\varepsilon_{s,m} + \varepsilon_{q,b}} = \frac{x_{fact,m}}{h_0 - x_{fact,m}}; \quad (26)$$

$$\frac{\varepsilon_{bu,x}}{\frac{\sigma_s \cdot \psi_s}{E_s} + \varepsilon_{q,b}} = \frac{x_{fact,m}}{h_0 - x_{fact,m}}, \quad (27)$$

где $x = x_{fact,m} \cdot \omega_0$, $x_{fact,m} = \frac{x}{\omega_0}$; ω_0 определяется в соответствии с [3], а параметр $\varepsilon_{q,b}$ определяется (до проведения специальных исследований) по экспериментальным данным.

После алгебраических преобразований получим:

$$\sigma_s = \frac{\varepsilon_{bu,x} \cdot E_s \cdot h_0 \cdot \omega_0 - E_s \cdot x \cdot (\varepsilon_{bu,x} - \varepsilon_{q,b})}{\psi_s \cdot x} \leq R_s. \quad (28)$$

Подставляя выражение (25) в неравенство (28), будем иметь:

$$\sigma_s = -0,5A + \sqrt{0,25A^2 + B} \leq R_s. \quad (29)$$

Здесь

$$A = \frac{\varepsilon_{bu,x} \cdot E_s}{\psi_s} - \frac{R_{sc} \cdot A_s'}{A_s} - \frac{\varepsilon_{q,b} \cdot E_s}{\psi_s}, \quad (30)$$

$$B = \frac{E_s \cdot (\varepsilon_{bu,x} \cdot h_0 \cdot \omega_0 \cdot k_{\sigma,x} \cdot R_b \cdot b + R_{sc} \cdot A_s' \cdot \varepsilon_{bu,x} - R_{sc} \cdot A_s' \cdot \varepsilon_{q,b})}{\psi_s \cdot A_s}. \quad (31)$$

Предельный внутренний изгибающий момент определяется из уравнения равновесия моментов всех сил, действующих в поперечном сечении (см. рис. 2 и рис. 6) относительно точки B (точка приложения равнодействующей в бетоне сжатой зоны), $-\sum M_B = 0$:

$$M \leq k_{\sigma,x} \cdot R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (0,5x - a'_s). \quad (32)$$

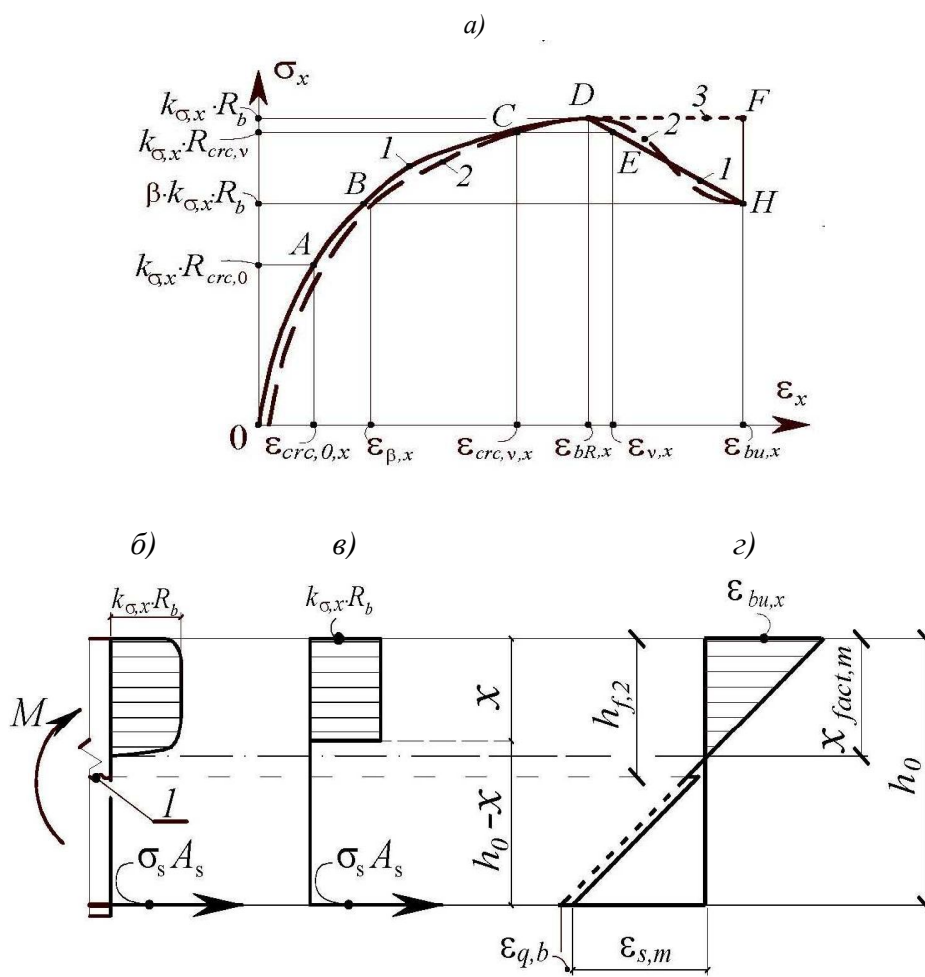


Рисунок 6 – Предельное напряженно-деформированное состояние поперечного сечения изгибаемой составной железобетонной конструкции при принятой эпюре средних деформаций бетона и арматуры: а – зависимость $\sigma_x - \epsilon_x$; б-в – действительная и расчетная эпюры напряжений в сжатом бетоне соответственно; г – гипотеза средних деформаций бетона и арматуры с учетом условных средних смещений $\epsilon_{q,b}$ в шве между бетонами; 1 – шов между бетонами

Таким образом, предложенный подход к анализу напряженно-деформированного состояния узла сопряжения железобетонных рамных конструкций, вместе с рассмотренным вариантом деформационной теории пластичности бетона, позволяет ввести более обоснованные критерии их сопротивления не только в эксплуатационной, но и в запредельной стадии.

При этом учет специфики и отмеченных особенностей сопротивления бетона узловой зоны (в том числе повышенной деформативности узловой зоны и несовместности деформаций бетонов в шве) заметно приближает расчет к реальной оценке происходящих здесь явлений при силовых и деформационных нагружениях.

В то же время предложенная методика сохраняет относительную простоту расчета и его физическую суть, а, следовательно, и инженерную обозримость. Все это, несомненно, будет способствовать экономичности проектирования железобетонных конструкций при одновременном обеспечении их безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, В.М. К расчету сооружений, меняющих расчетную схему вследствие коррозионных повреждений [Текст] / В.М. Бондаренко, Н.В. Ключева // Известия вузов. Строительство. – 2008. – №1. – С. 4-12.
2. Ключева, Н.В. Метод экспериментального определения параметров живучести железобетонных стержневых систем [Текст] / Н.В. Ключева, А.С. Бухтиярова, А.А. Дорофеев // Материалы Международной научно-технической конференции «Строительная наука – 2010: теория, практика и инновации Северо-арктическому региону». – Архангельск: Северный (Арктический) Федеральный Университет, 2010. – С. 191-200.
3. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01-84*. – [Введены в действие с 1986-01-01]. – М.: ЦТИП Госстроя СССР, 1989. – 88 с. – (Строительные нормы и правила).
4. Бондаренко, В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона: монография / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов. – М.: АСВ, 2004. – 472 с.
5. Гениев, Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона / Г.А. Гениев, В.Н. Киссюк, Г.А. Тюпин. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.
6. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона. – К.: НИИСК, 1987. – 25 с.

Колчунов Владимир Иванович

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина
Доктор технических наук, профессор
Тел.: +7 (4862) 76-03-72

Ключева Наталья Витальевна

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

Бухтиярова Анастасия Сергеевна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции и материалы»
Тел.: +7 (4862) 73-43-48
E-mail: oantc@ostu.ru

KOLCHUNOV V.I., KLJUEVA N.V., BUHTIJAROVA A.S.

STRENGTH OF JOINTS IN SPATIAL REINFORCED CONCRETE FRAMES FOR HIGH-RISE BUILDINGS UNDER ACTIONS BEYOND DESIGN BASIS

New approach is proposed for strength-strain analysis of joints in reinforced concrete frame structures, which gives more general criteria of strength at limit state and at conditions beyond design basis, considering strain theory of concrete plasticity. Along with it the most attention paid to the specifics of concrete strength of joint area which is in relation with increased strain property. This allows the analysis to be much closer to the real assessment of a structural behavior.

Keywords: actions beyond design basis, spatial frame structures, structural joint.

BIBLIOGRAPHY

1. Bondarenko, V.M. K raschetu sooruzhenij, menjajuwih raschetnuju shemu vsledstvie korrozionnyh povrezhdenij [Tekst] / V.M. Bondarenko, N.V. Kljueva // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. – 2008. – №1. – S. 4-12.
2. Kljueva, N.V. Metod jeksperimental'nogo opredelenija parametrov zhivuchesti zhelezobetonnyh sterzhnevyyh sistem [Tekst] / N.V. Kljueva, A.S. Buhtijarova, A.A. Dorofeev // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy kon-

- ferencii «Stroitel'naja nauka – 2010: teorija, praktika i innovacii Severo-arkticheskemu regionu». – Arhangel'sk: Severnyj (Arkticheskij) Federal'nyj Universitet, 2010. – S. 191-200.
3. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii: SNiP 2.03.01-84*. – [Vvedeny v dejstvie s 1986-01-01]. – M.: CTIP Gosstroja SSSR, 1989. – 88 s. – (Stroitel'nye normy i pravila).
4. Bondarenko, V.M. Raschetnye modeli silovogo soprotivlenija zhelezobetona: monografija / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov. – M.: ASV, 2004. – 472 s.
5. Geniev, G.A. Teorija plastichnosti betona i zhelezobetona / G.A. Geniev, V.N. Kissjuk, G.A. Tjupin. – M.: Strojizdat, 1974. – 316 s.
6. Metodicheskie rekomendacii po utochnennomu raschetu zhelezobetonnyh jelementov s uchetoj polnoj diagrammy szhatija betona. – K.: NIISK, 1987. – 25 s.

Kolchunov Vladimir Ivanovich

National aviation university, Kiev, Ukraine
Doctor of technical science, professor
Ph.: +7(4862) 76-03-72

Kljueva Natalia Vitalevna

State university – educational-science-production complex, Orel
Doctor of technical science, professor of department «City building and an economy»
Ph.: +7(4862) 76-03-72
E-mail: oantc@mail.ru

Buhtijarova Anastasiya Sergeevna

State university – educational-science-production complex, Orel
Senior teacher of department «Building designs and materials»
Ph.: +7 (4862) 73-43-48
E-mail: oantc@ostu.ru

КОРОБКО В.И., САВИН С.Ю.

ИЗГИБ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ОРТОТРОПНЫХ ПЛАСТИНОК С ОДНОРОДНЫМИ И КОМБИНИРОВАННЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ

В статье рассматриваются задачи поперечного изгиба упругих ортотропных пластинок в виде прямоугольников, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой, при однородных и комбинированных граничных условиях. Для этих пластинок по значениям максимальных прогибов, полученным с помощью МКЭ, построены аппроксимирующие функции, аргументами которых являются коэффициент формы и соотношения цилиндрических жесткостей. Эти функции могут быть использованы непосредственно для нахождения значений максимальных прогибов прямоугольных пластинок либо для получения опорных значений при решении задачи поперечного изгиба ортотропных пластин в виде параллелограммов и трапеций методом интерполяции по коэффициенту формы.

Ключевые слова: прямоугольные ортотропные пластинки, максимальный прогиб, однородные и комбинированные граничные условия, метод интерполяции по коэффициенту формы.

В современном строительстве в качестве элементов покрытий и перекрытий зданий и сооружений широко используются конструкции в виде пластинок различной формы с различными условиями опирания по контуру. При этом применение таких конструктивных решений как постановка ребер жесткости и армирование приводит к ортотропии их упругих свойств. Для расчета ортотропных пластин в настоящее время, как правило, применяют универсальные численные методы (МКЭ, МГЭ) [1], при использовании которых достаточно сложно уследить за физической сущностью решаемой задачи и оценить полученные результаты. Этого недостатка лишен эффективный инженерный метод расчета пластинок – метод интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ), разработанный А.В. Коробко [2].

Сущность МИКФ заключается в следующем. 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. Поэтому одно из направлений развития МИКФ связано с построением граничных кривых для пластинок определенных форм и различными комбинациями граничных условий, которые бы могли использоваться в качестве опорных решений.

Однако, несмотря на свою привлекательность, до настоящего времени к расчету упругих ортотропных пластинок МИКФ применялся ограничено. Известны лишь решения для пластинок в виде треугольников и прямоугольников из трех наиболее распространенных в строительстве видов фанеры для двух случаев закрепления (либо шарнирное опирание по всему контуру, либо жесткое защемление) [3, 4]. Таким образом, существует потребность в построении граничных функций для характерных форм ортотропных пластинок с комбинированными граничными условиями, по которым можно было бы найти опорные значения интегральных физических характеристик при расчете ортотропных пластинок произвольного вида при сложных граничных условиях с помощью МИКФ.

В настоящей статье выполняется построение граничных кривых для максимальных прогибов упругих ортотропных пластинок в виде прямоугольников с однородными и комбинированными граничными условиями (рис. 1). При этом оси ортотропии направлены вдоль их сторон. Построение аппроксимирующих функций осуществлялось по результатам численного решения соответствующих задач с помощью МКЭ с применением программного комплекса SCAD (с числом конечных элементов не менее 500).

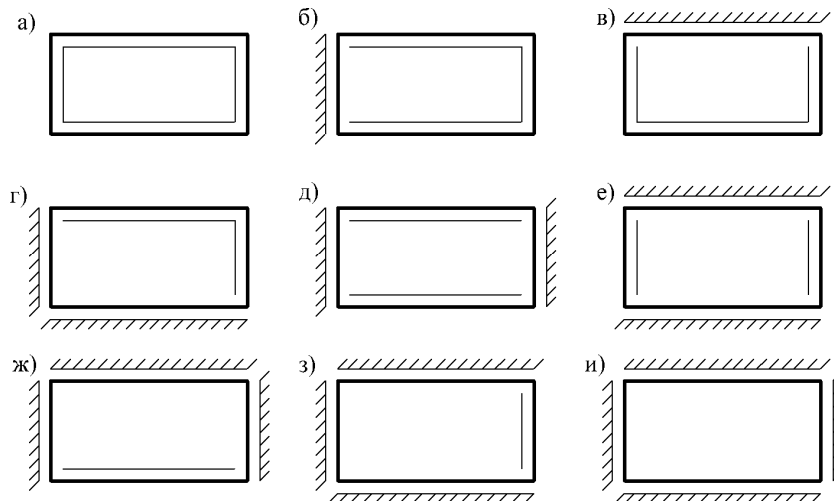


Рисунок 1 – Прямоугольные пластинки с однородными и комбинированными граничными условиями

Для изгиба ортотропной пластинки из теории упругости известно следующее дифференциальное уравнение:

$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = q, \quad (1)$$

где $H = D_1 + 2D_{xy}$, $D_1 = D_x \nu_y = D_y \nu_x$.

В этих выражениях D_x , D_y , D_{xy} – цилиндрические жесткости пластинки; ν_x , ν_y – коэффициенты Пуассона по соответствующим направлениям. Разделим правую и левую части уравнения (1) на H :

$$\frac{D_x}{H} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{D_y}{H} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{H}. \quad (2)$$

В этом случае при прочих одинаковых условиях (форма пластинки, нагрузка q , граничные условия и H) решение будет зависеть от двух параметров уравнения: D_x/H ; D_y/H .

В изопериметрическом виде выражение для определения максимальных прогибов изотропной пластинки представляется зависимостью [2]:

$$w = K_w \frac{qA^2}{DK_f^2}. \quad (3)$$

где $K_f = \oint_L \frac{ds}{h}$ – коэффициент формы; K_w – некоторая функция, зависящая от граничных условий, или постоянная для пластин с формой области одного класса (прямоугольные, трапециевидные и т.д.).

Однако для ортотропных пластин функция K_w будет также зависеть и от соотношения цилиндрических жесткостей D_x/H и D_y/H . Осуществим замену соотношения $\frac{K_w}{K_f^2}$ на

функцию $f(K_f; D_x/H; D_y/H)$. С учетом этого выражение (3) для ортотропных пластин примет вид:

$$w = f(K_f; D_x/H; D_y/H) \frac{qA^2}{H}. \quad (4)$$

Неизвестную функцию f из выражения (4) будем искать следующим образом. По значениям максимальных прогибов, используя программный комплекс *Table Curve 3D*, построим аппроксимирующие функции $\varphi_n(D_x/H; D_y/H)$, где $n = 0, 1; 0, 2; \dots, 1$ – соотношение сторон прямоугольной пластинки:

$$\varphi_n = a_n + b_n \frac{H}{D_x} + c_n \frac{H}{D_y} + d_n \frac{H^2}{D_x^2} + e_n \frac{H^2}{D_y^2} + f_n \frac{H^2}{D_x D_y} + g_n \frac{H^3}{D_x^3} + h_n \frac{H^3}{D_y^3} + i_n \frac{H^3}{D_x D_y^2} + j_n \frac{H^3}{D_x^2 D_y} \quad (5)$$

При этом коэффициенты a_n, \dots, j_n будут изменяться в зависимости от соотношения сторон пластинки. Учитывая это обстоятельство, представим коэффициенты a_n, \dots, j_n в виде функций $\psi_{k,l}(K_f)$, постоянных при заданных граничных условиях, где индекс k соответствует коэффициентам a_n, \dots, j_n выражения (5), а l – вариантам граничных условий. Неизвестные функции найдем, воспользовавшись программным комплексом *Table Curve 2D*. По результатам вычислений были получены функции следующего вида:

$$\psi_{k,l}(K_f) = \frac{A_{k,l} + C_{k,l} K_f^{m/2} + E_{k,l} K_f^m + G_{k,l} K_f^{3m/2} + I_{k,l} K_f^{2m}}{1 + B_{k,l} K_f^{m/2} + D_{k,l} K_f^m + F_{k,l} K_f^{3m/2} + H_{k,l} K_f^{2m}}, \quad (6)$$

где $m = 1, 2, 4$.

При определенных граничных условиях для некоторых коэффициентов a_n, \dots, j_n были получены функции $\psi_{k,l}$ иного вида, более точно описывающие зависимость между K_f и коэффициентами a_n, \dots, j_n :

$$\psi_{k,l}(K_f) = \left(\frac{A_{k,l} + C_{k,l} K_f^{m/2} + E_{k,l} K_f^m + G_{k,l} K_f^{3m/2} + I_{k,l} K_f^{2m}}{1 + B_{k,l} K_f^{m/2} + D_{k,l} K_f^m + F_{k,l} K_f^{3m/2} + H_{k,l} K_f^{2m}} \right)^{1/2}, \quad (7)$$

$$\psi_{k,l}(K_f) = \frac{A_{k,l} + C_{k,l} (\ln K_f)^{m/2} + E_{k,l} (\ln K_f)^m + G_{k,l} (\ln K_f)^{3m/2} + I_{k,l} (\ln K_f)^{2m}}{1 + B_{k,l} (\ln K_f)^{m/2} + D_{k,l} (\ln K_f)^m + F_{k,l} (\ln K_f)^{3m/2} + H_{k,l} (\ln K_f)^{2m}}. \quad (8)$$

Значения коэффициентов $A_{k,l}, \dots, I_{k,l}$ и показателя степени m для соответствующих $\psi_{k,l}$ и граничных условий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов $A_{k,l}, \dots, I_{k,l}$ и показателей степени m

Коэффициенты выражения (5)		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Вид граничных условий		Шарнирное опирание по контуру (рис. 1, а)									
Выражение для функции $\psi_{k,l}$		(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)
Показатель степени m		2	1	4	1	4	4	1	4	1	1
Коэффициенты выражений (6),..., (8)	A	0,0004	-0,0004	-0,0110	0,0014	0,0008	-0,0472	-0,0015	-0,0014	$2,9 \cdot 10^{-5}$	0,0002
	B	-0,2916	-1,3169	-0,0692	-1,3298	-0,0457	0,0033	-1,3403	-0,0284	-0,9987	-1,2958
	C	-0,0001	0,0004	0,0003	-0,0014	$-3,1 \cdot 10^{-5}$	0,0013	0,0015	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$-1,0 \cdot 10^{-5}$	-0,0001
	D	0,0050	0,6513	0,0015	0,6697	0,0008	-0,0015	0,6881	0,0002	0,3344	0,6341
	E	$2,3 \cdot 10^{-7}$	-0,0002	$-3,1 \cdot 10^{-6}$	0,0005	$2,6 \cdot 10^{-7}$	$-9,9 \cdot 10^{-6}$	-0,0006	$-3,4 \cdot 10^{-8}$	$8,4 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$
	F	0,0020	-0,1436	$-1,3 \cdot 10^{-5}$	-0,1520	$-5,1 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	-0,1616	$-7,9 \cdot 10^{-7}$	-0,0376	-0,1394
	G	0	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	-0,0001	$-6,9 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-08}$	0,0001	0	$-1,8 \cdot 10^{-8}$	$-1,4 \cdot 10^{-6}$
	H	0	0,0119	$4,3 \cdot 10^{-8}$	0,0132	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$3,3 \cdot 10^{-10}$	0,0147	0	0	0,0117
	I	0	$-1,5 \cdot 10^{-6}$	0	$5,1 \cdot 10^{-6}$	0	$-5,0 \cdot 10^{-12}$	$-5,3 \cdot 10^{-6}$	0	0	0
Вид граничных условий		Комбинированное опирание по контуру (рис. 1, б)									
Выражение для функции $\psi_{k,l}$		(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)
Показатель степени m		1	1	4	4	4	1	4	4	4	1
Коэффициенты выражений (6),..., (8)	A	-0,0001	-0,0501	-0,0009	0,0031	0,0027	-0,0002	-0,0022	-0,0004	-0,0125	-0,0005
	B	-1,1690	0,1679	-0,0364	-0,0471	-0,0473	-1,3092	-0,0499	-0,0430	-0,0544	-0,9813
	C	$3,7 \cdot 10^{-5}$	0,0527	0,0001	-0,0001	-0,0001	0,0002	0,0001	$1,2 \cdot 10^{-5}$	0,0004	0,0004
	D	0,4813	0,4220	0,0006	0,0008	0,0008	0,6447	0,0008	0,0007	0,0010	0,3235
	E	$-2,6 \cdot 10^{-6}$	-0,0204	$-9,6 \cdot 10^{-7}$	$6,3 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-7}$	$-3,4 \cdot 10^{-5}$	$-4,0 \cdot 10^{-7}$	$-9,2 \cdot 10^{-8}$	$-3,2 \cdot 10^{-6}$	-0,0001
	F	-0,0683	-0,5997	$-3,9 \cdot 10^{-6}$	$-5,1 \cdot 10^{-6}$	$-5,3 \cdot 10^{-6}$	-0,1418	$-6,0 \cdot 10^{-6}$	$-4,2 \cdot 10^{-6}$	$-4,3 \cdot 10^{-6}$	-0,0359
	G	0	0,0034	$-4,9 \cdot 10^{-11}$	$-1,7 \cdot 10^{-9}$	$-8,9 \cdot 10^{-10}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$	$2,1 \cdot 10^{-10}$	$4,9 \cdot 10^{-9}$	$6,7 \cdot 10^{-6}$
	H	0	0,1383	0	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-8}$	0,0118	$1,9 \cdot 10^{-8}$	$9,8 \cdot 10^{-9}$	$-4,2 \cdot 10^{-8}$	0
	I	0	-0,0002	0	0	0	0	0	0	$-3,0 \cdot 10^{-12}$	0
Вид граничных условий		Комбинированное опирание по контуру (рис. 1, в)									
Выражение для функции $\psi_{k,l}$		(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)
Показатель степени m		2	4	4	4	1	4	4	4	4	1
Коэффициенты выражений (6),..., (8)	A	0,0473	-0,0004	-0,0036	0,0009	0,0001	0,0004	-0,0006	-0,0001	-0,0004	0,0005
	B	-0,2910	-0,0447	-0,0607	-0,0473	-0,9914	-0,0355	-0,0479	-0,0314	-0,0515	-0,9541
	C	-0,0049	$1,2 \cdot 10^{-5}$	0,0001	$-2,7 \cdot 10^{-5}$	-0,0001	$-1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	-0,0003
	D	-2,5594	0,0007	0,0012	0,0008	0,3275	0,0005	0,0008	0,0003	0,0009	0,3154
	E	-0,0002	$-1,1 \cdot 10^{-7}$	$-1,1 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$-1,5 \cdot 10^{-7}$	$-8,5 \cdot 10^{-9}$	$-1,1 \cdot 10^{-7}$	0,0001
	F	-0,1904	$-4,3 \cdot 10^{-6}$	$-1,0 \cdot 10^{-5}$	$-5,7 \cdot 10^{-6}$	-0,0361	$-2,3 \cdot 10^{-6}$	$-6,1 \cdot 10^{-6}$	$-1,0 \cdot 10^{-6}$	$-7,0 \cdot 10^{-6}$	-0,0368
	G	$-5,0 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-10}$	$3,7 \cdot 10^{-9}$	$-8,3 \cdot 10^{-10}$	$-1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-11}$	$4,9 \cdot 10^{-10}$	$1,4 \cdot 10^{-13}$	$3,2 \cdot 10^{-10}$	$-4,7 \cdot 10^{-6}$
	H	0,0693	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$3,2 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-8}$	0	0	$1,9 \cdot 10^{-8}$	0	$1,9 \cdot 10^{-8}$	0
	I	0	$2,3 \cdot 10^{-14}$	$-1,7 \cdot 10^{-14}$	$-1,1 \cdot 10^{-15}$	0	0	$-1,6 \cdot 10^{-14}$	0	0	0

3		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>J</i>
Вид граничных условий		Комбинированное опирание по контуру (рис. 1, <i>з</i>)									
Выражение для функции $\psi_{k,l}$		(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)
Показатель степени <i>m</i>		4	4	2	1	4	1	4	1	4	1
Коэффициенты выражений (6),..., (8)	<i>A</i>	0,0003	-0,0007	-0,4541	0,0003	0,0018	-0,0001	-0,0024	-0,0001	-0,0005	$2,6 \cdot 10^{-5}$
	<i>B</i>	-0,0623	-0,0495	-0,0244	-1,0300	-0,0467	-0,9984	-0,0596	-0,9830	-0,0519	-1,2883
	<i>C</i>	$-6,2 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	0,0797	-0,0002	$-4,7 \cdot 10^{-5}$	0,0001	0,0001	0,0001	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$-1,7 \cdot 10^{-5}$
	<i>D</i>	0,0011	0,0009	-0,2428	0,3545	0,0008	0,3358	0,0012	0,3231	0,0009	0,6238
	<i>E</i>	$3,7 \cdot 10^{-8}$	$-2,0 \cdot 10^{-7}$	-0,0044	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$-5,0 \cdot 10^{-6}$	$-5,2 \cdot 10^{-7}$	$-1,5 \cdot 10^{-5}$	$-1,1 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$
	<i>F</i>	$-5,6 \cdot 10^{-6}$	$-6,5 \cdot 10^{-6}$	-0,1641	-0,0408	$-5,4 \cdot 10^{-6}$	-0,0382	$-1,2 \cdot 10^{-5}$	-0,0356	$-6,6 \cdot 10^{-6}$	-0,1347
	<i>G</i>	$-7,1 \cdot 10^{-11}$	$6,7 \cdot 10^{-10}$	0,0002	$-3,4 \cdot 10^{-6}$	$-9,2 \cdot 10^{-10}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-10}$	$7,8 \cdot 10^{-8}$
	<i>H</i>	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-8}$	0,0246	0	$2,0 \cdot 10^{-8}$	0	$5,9 \cdot 10^{-8}$	0	$1,8 \cdot 10^{-8}$	0,0110
	<i>I</i>	0	$3,2 \cdot 10^{-15}$	$-2,4 \cdot 10^{-6}$	0	$2,2 \cdot 10^{-13}$	0	$-2,0 \cdot 10^{-13}$	0	0	0
Вид граничных условий		Комбинированное опирание по контуру (рис. 1, <i>д</i>)									
Выражение для функции $\psi_{k,l}$		(6)	(7)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(7)	(6)	(6)
Показатель степени <i>m</i>		2	4	4	4	2	4	4	4	1	1
Коэффициенты выражений (6),..., (8)	<i>A</i>	0,0002	$3,4 \cdot 10^{-6}$	-0,0306	0,0071	-0,0007	0,0056	0,0015	$-8,4 \cdot 10^{-7}$	-0,0052	-0,0009
	<i>B</i>	-0,4196	-0,0387	-0,0547	-0,0559	-0,3421	-0,0252	-0,0289	-0,0595	-0,7903	-0,9977
	<i>C</i>	-0,0001	$-7,4 \cdot 10^{-8}$	0,0010	-0,0002	0,0001	-0,0001	$-2,7 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	0,0054	0,0007
	<i>D</i>	0,0619	0,0005	0,0013	0,0010	0,0410	0,0002	0,0003	0,0013	0,1036	0,3342
	<i>E</i>	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-10}$	$-7,2 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$-6,7 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-7}$	$7,7 \cdot 10^{-8}$	$-1,1 \cdot 10^{-10}$	-0,0020	-0,0002
	<i>F</i>	-0,0035	$-9,1 \cdot 10^{-7}$	$-7,0 \cdot 10^{-6}$	$-7,4 \cdot 10^{-6}$	-0,0018	$-5,6 \cdot 10^{-7}$	$-6,2 \cdot 10^{-7}$	$-1,3 \cdot 10^{-5}$	0,0486	-0,0378
	<i>G</i>	$-1,4 \cdot 10^{-7}$	$-9,1 \cdot 10^{-13}$	$-9,2 \cdot 10^{-9}$	$-3,3 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$9,8 \cdot 10^{-10}$	$-3,9 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-13}$	0,0003	$1,2 \cdot 10^{-5}$
	<i>H</i>	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$-1,5 \cdot 10^{-8}$	$-7,1 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$-6,2 \cdot 10^{-9}$	$-5,5 \cdot 10^{-9}$	$4,9 \cdot 10^{-8}$	-0,0108	0
	<i>I</i>	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$3,9 \cdot 10^{-16}$	$-4,4 \cdot 10^{-12}$	0	0	0	0	$-8,1 \cdot 10^{-17}$	$-1,9 \cdot 10^{-5}$	0
Вид граничных условий		Комбинированное опирание по контуру (рис. 1, <i>е</i>)									
Выражение для функции $\psi_{k,l}$		(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)
Показатель степени <i>m</i>		4	1	4	2	4	2	4	4	4	2
Коэффициенты выражений (6),..., (8)	<i>A</i>	0,0001	-0,0001	-0,0014	0,0002	0,0002	0,0001	-0,0005	$-3,9 \cdot 10^{-5}$	-0,0002	$-2,9 \cdot 10^{-5}$
	<i>B</i>	-0,0588	-1,3115	-0,0584	-0,4428	-0,0324	-0,3481	-0,0662	-0,0321	-0,0530	-0,3299
	<i>C</i>	$-2,8 \cdot 10^{-6}$	0,0001	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$-4,9 \cdot 10^{-5}$	$-2,3 \cdot 10^{-6}$	$-3,5 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-7}$	$6,6 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
	<i>D</i>	0,0012	0,6437	0,0012	0,0730	$3,1 \cdot 10^{-4}$	0,0411	0,0016	0,0003	0,0010	0,0371
	<i>E</i>	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$-2,4 \cdot 10^{-5}$	$-4,8 \cdot 10^{-7}$	$5,5 \cdot 10^{-6}$	$6,3 \cdot 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$-2,3 \cdot 10^{-7}$	$-3,2 \cdot 10^{-9}$	$-6,2 \cdot 10^{-8}$	$-1,0 \cdot 10^{-6}$
	<i>F</i>	$-9,3 \cdot 10^{-6}$	-0,1402	$-1,0 \cdot 10^{-5}$	-0,0053	$-6,8 \cdot 10^{-7}$	-0,0016	$-1,8 \cdot 10^{-5}$	$-1,1 \cdot 10^{-6}$	$-8,0 \cdot 10^{-6}$	-0,0014
	<i>G</i>	$-9,3 \cdot 10^{-11}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-9}$	$-2,3 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-11}$	$-2,9 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$-3,6 \cdot 10^{-13}$	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$8,5 \cdot 10^{-9}$
	<i>H</i>	$2,8 \cdot 10^{-8}$	0,0114	$3,1 \cdot 10^{-8}$	0,0001	$-2,0 \cdot 10^{-9}$	0	$7,9 \cdot 10^{-8}$	0	$2,4 \cdot 10^{-8}$	0
	<i>I</i>	$-5,7 \cdot 10^{-16}$	$-2,2 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-14}$	$2,3 \cdot 10^{-9}$	0	0	$-5,7 \cdot 10^{-14}$	0	$-4,2 \cdot 10^{-15}$	0
Вид граничных условий		Комбинированное опирание по контуру (рис. 1, <i>ж</i>)									
Выражение для функции $\psi_{k,l}$		(6)	(6)	(8)	(6)	(6)	(6)	(7)	(6)	(6)	(6)
Показатель степени <i>m</i>		2	4	2	4	4	1	4	4	1	1
Коэффициенты выражений (6),..., (8)	<i>A</i>	0,0003	-0,0010	0,0002	-0,0029	0,0003	0,0027	$-9,4 \cdot 10^{-7}$	$-2,4 \cdot 10^{-5}$	0,0001	0,0001
	<i>B</i>	-0,3812	-0,0534	-1,4242	-0,0348	-0,0448	-1,1356	-0,0627	-0,0415	-1,0040	-1,3127
	<i>C</i>	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	-0,0002	0,0001	$-8,7 \cdot 10^{-6}$	-0,0027	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	-0,0001	$-4,2 \cdot 10^{-5}$
	<i>D</i>	$-4,4 \cdot 10^{-6}$	$-2,8 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$-3,8 \cdot 10^{-7}$	$8,0 \cdot 10^{-8}$	0,0010	$-1,1 \cdot 10^{-10}$	$-2,2 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$8,2 \cdot 10^{-6}$
	<i>E</i>	-0,0180	$-1,6 \cdot 10^{-6}$	-0,1133	$-1,6 \cdot 10^{-6}$	$-5,0 \cdot 10^{-6}$	-0,0738	$-1,5 \cdot 10^{-5}$	$-3,6 \cdot 10^{-6}$	-0,0381	-0,1422
	<i>F</i>	$-1,1 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	0	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$-2,2 \cdot 10^{-10}$	-0,0001	$2,6 \cdot 10^{-13}$	$5,7 \cdot 10^{-11}$	$-8,4 \cdot 10^{-7}$	$-3,3 \cdot 10^{-7}$
	<i>G</i>	0,0015	$2,7 \cdot 10^{-8}$	0	$-1,3 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	0,0033	$6,4 \cdot 10^{-8}$	$7,4 \cdot 10^{-9}$	0	0,0118
	<i>H</i>	0	$-2,4 \cdot 10^{-14}$	0	$-3,8 \cdot 10^{-13}$	0	$8,4 \cdot 10^{-6}$	$-1,1 \cdot 10^{-16}$	0	0	0
	<i>I</i>	0	$-2,4 \cdot 10^{-14}$	0	$-3,8 \cdot 10^{-13}$	0	$8,4 \cdot 10^{-6}$	$-1,1 \cdot 10^{-16}$	0	0	0
Вид граничных условий		Комбинированное опирание по контуру (рис. 1, <i>з</i>)									
Выражение для функции $\psi_{k,l}$		(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)
Показатель степени <i>m</i>		2	4	4	4	1	1	4	1	1	2
Коэффициенты выражений (6),..., (8)	<i>A</i>	0,0598	-0,0004	-0,0015	0,0007	$-3,7 \cdot 10^{-5}$	0,0001	-0,0006	$3,4 \cdot 10^{-6}$	-0,0001	0,0001
	<i>B</i>	-0,1120	-0,0589	-0,0632	-0,0575	-1,4881	-1,0124	-0,0576	-1,3330	-1,3648	-0,4499
	<i>C</i>	-0,0053	$1,4 \cdot 10^{-5}$	0,0001	$-2,4 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	-0,0001	0,0000	$-2,0 \cdot 10^{-6}$	0,0001	$-1,3 \cdot 10^{-5}$
	<i>D</i>	-0,5451	0,0013	0,0015	0,0012	0,8166	0,3427	0,0013	0,6632	0,6976	0,0768
	<i>E</i>	-0,0004	$-1,8 \cdot 10^{-7}$	$-6,9 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$-5,0 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$-1,8 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$-2,9 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$
	<i>F</i>	-2,5363	$-1,2 \cdot 10^{-5}$	$-1,4 \cdot 10^{-5}$	$-1,2 \cdot 10^{-5}$	-0,1964	-0,0388	$-1,3 \cdot 10^{-5}$	-0,1460	-0,1585	-0,0060
	<i>G</i>	$-1,3 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-10}$	$3,2 \cdot 10^{-9}$	$-1,2 \cdot 10^{-9}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$-9,4 \cdot 10^{-7}$	$7,4 \cdot 10^{-10}$	$6,8 \cdot 10^{-9}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$
	<i>H</i>	0,3604	$4,4 \cdot 10^{-8}$	$5,7 \cdot 10^{-8}$	$4,6 \cdot 10^{-8}$	0,0175	0	$5,5 \cdot 10^{-8}$	0,0120	0,0135	0,0002
	<i>I</i>	0	$2,0 \cdot 10^{-15}$	$-1,8 \cdot 10^{-14}$	$6,1 \cdot 10^{-14}$	0	0	$-5,1 \cdot 10^{-14}$	0	$-2,8 \cdot 10^{-7}$	0
Вид граничных условий		Жесткое защемление по контуру (рис. 1, <i>и</i>)									
Выражение для функции $\psi_{k,l}$		(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)
Показатель степени <i>m</i>		2	4	4	4	4	4	4	1	4	4
Коэффициенты выражений (6),..., (8)	<i>A</i>	0,5699	-0,0003	-0,0016	0,0006	$-4,3 \cdot 10^{-5}$	0,0002	-0,0005	$3,6 \cdot 10^{-6}$	-0,0002	-0,0011
	<i>B</i>	-0,1022	-0,0513	-0,0697	-0,0541	-0,0520	-0,0382	-0,0552	-1,3470	-0,0483	-0,0377
	<i>C</i>	-0,0928	$1,0 \cdot 10^{-5}$	0,0001	$-2,0 \cdot 10^{-5}$	$-3,1 \cdot 10^{-6}$	$-1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$-2,0 \cdot 10^{-6}$	$5,1 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$
	<i>D</i>	-1,4417	0,0009	0,0017	0,0011	0,0010	0,0005	0,0011	0,6775	0,0008	0,0006
	<i>E</i>	0,0038	$-1,0 \cdot 10^{-7}$	$-8,5 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$	$5,0 \cdot 10^{-8}$	$9,8 \cdot 10^{-8}$	$-1,4 \cdot 10^{-7}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$-4,4 \cdot 10^{-8}$	$-2,1 \cdot 10^{-7}$
	<i>F</i>	-8,8081	$-7,3 \cdot 10^{-6}$	$-1,8 \cdot 10^{-5}$	$-9,2 \cdot 10^{-6}$	$-7,9 \cdot 10^{-6}$	-2,7	$-9,9 \cdot 10^{-6}$	-0,1508	$-6,0 \cdot 10^{-6}$	$-3,5 \cdot 10^{-6}$
	<i>G</i>	-0,0001	$3,5 \cdot 10^{-10}$	$3,8 \cdot 10^{-9}$	$-7,8 \cdot 10^{-10}$	$-2,0 \cdot 10^{-10}$	$-4,4 \cdot 10^{-12}$	$4,9 \cdot 10^{-10}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$2,7 \cdot 10^{-10}$
	<i>H</i>	1,1299	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$7,1 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$9,1 \cdot 10^{-11}$	$3,6 \cdot 10^{-8}$	0,0125	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$2,1 \cdot 10^{-10}$
	<i>I</i>	0	$1,1 \cdot 10^{-14}$	$1,9 \cdot 10^{-14}$	0	$-1,3 \cdot 10^{-14}$	0	$-2,7 \cdot 10^{-14}$	0	0	$-1,2 \cdot 10^{-13}$

Для получения более наглядного представления о функции $\varphi_n(D_x/H; D_y/H)$ дан ее график (рис. 2), соответствующий прямоугольным пластинкам, шарнирно опертым по контуру

при соотношении сторон $a/b = 0,5$. На рисунке 3 представлен график функции $\psi_{k,l}(K_f)$, соответствующей коэффициенту b выражения (5) для указанных пластинок.

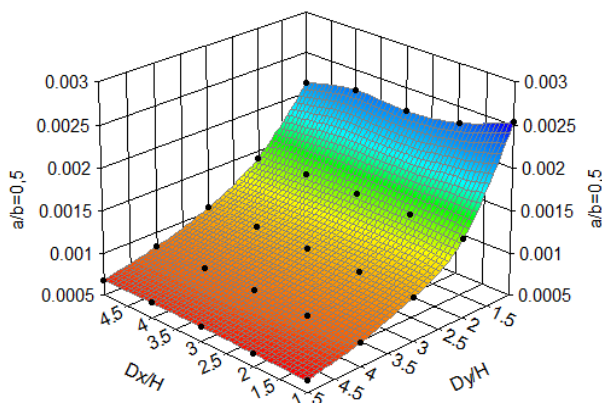


Рисунок 2 – График функции φ_n прямоугольной шарнирно опертой пластинки при соотношении сторон $a/b=0,5$

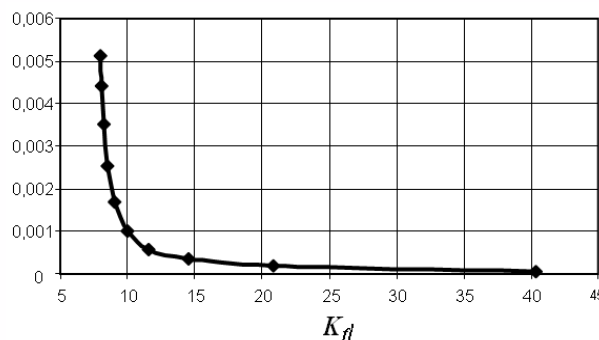


Рисунок 3 – График функции $\psi_{k,l}$ прямоугольной шарнирно опертой пластинки, соответствующий коэффициенту b выражения (5)

Подставляя значения переменных коэффициентов A_{kl}, \dots, I_{kl} из таблицы 1 в выражения (6), ..., (8) и заменяя полученными значениями коэффициенты выражения (5), найдем значения функции $f(K_f; D_x/H; D_y/H)$. Умножив их на размерный множитель $\frac{qA^2}{H}$, получим значения максимальных прогибов для прямоугольных ортотропных пластинок при однородных и комбинированных граничных условиях. Сравнение результатов полученных с помощью предложенного способа, с результатами расчета по МКЭ показало, что погрешность решений по сравнению с последними не превышает 4,2%.

Выводы

1. Построены аппроксимирующие функции для нахождения значений максимальных прогибов упругих ортотропных пластинок в виде прямоугольников при однородных и комбинированных граничных условиях, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой.

2. Полученные аппроксимирующие функции могут быть использованы для непосредственного расчета прямоугольных пластинок и в качестве граничной кривой для выбора опорных решений, а также для разработки программного комплекса, реализующего метод интерполяции по коэффициенту формы при расчете ортотропных пластинок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробко, В.И. Строительная механика пластинок: техническая теория: Учебное пособие [Текст] / под редакцией В.И. Коробко. – М.: Издательский дом «Спектр», 2010. – 410 с.
2. Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости [Текст] / А.В. Коробко. – М.: АСВ, 1999. – 320 с.
3. Коробко, В.И. Расчет треугольных ортотропных пластинок с однородными граничными условиями методом интерполяции по коэффициенту формы [Текст] / В.И. Коробко, С.Ю. Савин // Строительство и реконструкция. – Орел: ОрелГТУ. – 2010. – №4 (30) – С. 8-12.
4. Коробко, А.В. Расчет прямоугольных ортотропных пластинок с однородными граничными условиями методом интерполяции по коэффициенту формы [Текст] / А.В. Коробко, С.Ю. Савин // Строительная механика и расчет сооружений. – 2011. – №1. – С. 11-15.

Коробко Виктор Иванович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции и материалы»
Тел.: +7 (4862) 73-43-95
E-mail: vikor10@mail.ru

Савин Сергей Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Аспирант кафедры «Строительные конструкции и материалы»
E-mail: sjs28@mail.ru

KOROBKO V.I., SAVIN S.Yu.

BENDING OF THE RECTANGULAR ORTHOTROPIC PLATE WITH HOMOGENEOUS AND COMBINED BOUNDARY CONDITIONS

The article describes the problem of transverse bending of elastic orthotropic plates in the form of rectangles, loaded with a evenly distributed load, with combined and with homogeneous boundary conditions. For these plates the values of the maximum deflection obtained by FEM to construct an approximating function whose arguments are the shape factor and the ratio of flexural rigidity. These functions can be directly used for finding of values of the maximum deflection of rectangular plates, or to obtain reference values for solving the problem of transverse bending of orthotropic plates in the form of parallelograms and trapezoids using the interpolation technique by shape factor.

Keywords: *the rectangular orthotropic plates, the maximum deflection, homogeneous and combined boundary conditions, the interpolation technique by shape factor.*

BIBLIOGRAPHY

1. Korobko, V.I. Stroitel'naja mehanika plastinok: tehničeskaja teorija: Uchebnoe posobie [Tekst] / pod redakciej V.I. Korobko. – M.: Izdatel'skij dom «Spektr», 2010. – 410 s.
2. Korobko, A.V. Geometričeskoe modelirovanie formy oblasti v dvumernyh zadachah teorii uprugosti [Tekst] / A.V. Korobko. – M.: ASV, 1999. – 320 s.
3. Korobko, V.I. Raschet treugol'nyh ortotropnyh plastinok s odnorodnymi granichnymi uslovijami metodom interpoljacji po koeficientu formy [Tekst] / V.I. Korobko, S.Ju. Savin // Stroitel'stvo i rekon-strukcija. – Orel: OrelGTU. – 2010. – №4 (30) – S. 8-12.
4. Korobko, A.V. Raschet prjamougol'nyh ortotropnyh plastinok s odnorodnymi granichnymi uslovijami metodom interpoljacji po koeficientu formy [Tekst] / A.V. Korobko, S.Ju. Savin // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 2011. – №1. – S. 11-15.

Korobko Victor Ivanovich

State university – educational-science-production complex, Orel
Doctor of technical science, professor of department «Construction structures and materials»
Ph.: +7 (4862) 73-43-95
E-mail: vikor10@mail.ru

Savin Sergey Jurevich

State university – educational-science-production complex, Orel
Post-graduate student of department «Construction structures and materials»
E-mail: sjs28@mail.ru

ОСИПОВА Н.Н.

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ СНАБЖЕНИЯ СЖИЖЕННЫМ УГЛЕВОДОРОДНЫМ ГАЗОМ

В статье приводятся результаты экономико-математических исследований по выбору рациональной области применения централизованных и децентрализованных систем газоснабжения на базе групповых и индивидуальных резервуарных установок сжиженного углеводородного газа. Обосновывается зона преимущественного применения резервуаров с естественным испарением сжиженного углеводородного газа в самих расходных емкостях (децентрализованные системы) и групповых резервуарных установок с искусственной регазификацией на базе электрических испарителей сжиженного углеводородного газа в зависимости от вида газоиспользующего оборудования у потребителя.

Ключевые слова: сжиженный углеводородный газ, резервуарная установка, экономико-математическое моделирование, область применения.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В существующей практике снабжение сельских населенных пунктов, удаленных от магистралей сетевого природного газа, осуществляется сжиженным углеводородным газом (СУГ) преимущественно на базе индивидуальных газобаллонных установок.

Однако сложившаяся практика газификации населенных пунктов малоэтажной застройки только на базе газобаллонных установок не отвечает современным техническим и социально-экономическим требованиям к системам инженерного оборудования зданий.

Низкая паропроизводительность газобаллонных установок в сочетании с небольшим запасом газа у потребителя исключает применение газообразного топлива на нужды отопления и обуславливает использование на эти цели твердого топлива (уголь, дрова) [1].

Указанное обстоятельство негативно сказывается на санитарно-гигиенических условиях жизни населения, ухудшает экологию населенных пунктов, снижает общий уровень и культуру инженерного сервиса.

Таким образом, газификация процесса отопления зданий требует обязательного применения резервуарных установок.

В этой связи актуальным направлением развития поселковых систем газоснабжения на базе СУГ является использование резервуарных установок сжиженного газа [2].

Применение резервуарных установок предусматривает два варианта систем газоснабжения:

- децентрализованные системы газоснабжения от индивидуальных резервуарных установок;
- централизованные системы газоснабжения от групповых резервуарных установок.

Системы децентрализованного снабжения сжиженным газом предусматривают установку у каждого потребителя (жилого здания) индивидуального подземного резервуара. Паровая фаза СУГ генерируется в самом расходном резервуаре по принципу естественной регазификации с использованием природного тепла грунтового массива. Подача паровой фазы СУГ в газоиспользующие установки осуществляется по системе дворовых и внутридомовых газопроводов.

Низкая паропроизводительность подземных резервуарных установок, особенно при наличии СУГ с повышенным содержанием бутана, обуславливает целесообразность применения в системах централизованного газоснабжения групповых резервуарных установок, оборудованных испарителями СУГ.

Системы централизованного снабжения СУГ используют в качестве источника газоснабжения групповые резервуарные установки также с подземным размещением емкостей.

Генерация паровой фазы СУГ осуществляется как в самих расходных резервуарах (системы с естественной регазификацией), так и в специальных теплообменниках – испарителях, использующих теплоту горячей воды, водяного пара, продуктов сгорания и электрической энергии (искусственная регазификация).

Снабжение потребителей паровой фазой СУГ в данном случае осуществляется по системам распределительных газопроводов, включающих в себя уличные, дворовые и внутридомовые газовые сети.

В целях выявления рациональной области применения централизованных и децентрализованных систем газоснабжения сельских поселков на базе резервуарных установок были проведены соответствующие исследования.

РАЗРАБОТКА ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В качестве целевых функций задачи приняты удельные (на одну газифицируемую квартиру) приведенные затраты по соответствующим системам газоснабжения.

Задача решалась методом «критических точек», путем численной реализации уравнения следующего вида [3]:

$$Z_{\text{сцгс}}^{\text{min}}(n, q) = Z_{\text{сдгс}}, \quad (1)$$

где $Z_{\text{сцгс}}^{\text{min}}$ – минимальные удельные приведенные затраты в систему централизованного газоснабжения в условиях оптимального количества зданий, подключаемых к групповой резервуарной установке, р/(год·зд); n – количество квартир, подключаемых к групповой резервуарной установке, кв; q – плотность населения на газоснабжаемой территории, чел./м²; $Z_{\text{сдгс}}$ – удельные приведенные затраты в систему децентрализованного газоснабжения на базе индивидуальных резервуарных установок, р/(год·зд).

В общем случае на величину расчетных затрат в систему газоснабжения оказывают влияние многие факторы, в том числе газовое оборудование квартир, теплотехнические характеристики ограждающих конструкций, климатические условия эксплуатации, плотность населения на газоснабжаемой территории и характер застройки населенного пункта.

Поскольку затраты в дворовые и внутридомовые газовые сети по сравниваемым вариантам систем газоснабжения одинаковы, при расчете составляющих уравнения (1) используется принцип «нетто». Затраты по централизованным системам газоснабжения определяются по комплексу: групповые резервуарные установки – уличные распределительные газовые сети. Затраты по децентрализованным системам включают в себя только затраты в индивидуальные резервуарные установки.

Затраты в систему централизованного газоснабжения определяются по выражению [4]:

$$Z_{\text{сцгс}}(n, q) = Z_{\text{гpy}}(n, q) + Z_{\text{ргс}}(n, q) = \min, \quad (2)$$

где $Z_{\text{сцгс}}(n, q)$ – удельные приведенные затраты в систему централизованного газоснабжения, р/(год·зд); $Z_{\text{гpy}}(n, q)$ – то же в групповые резервуарные установки, оборудованные электрическими испарителями СУГ, р/(год·зд); $Z_{\text{ргс}}(n, q)$ – то же в уличные распределительные газовые сети, р/(год·зд).

Удельные приведенные затраты в групповые резервуарные установки, оснащенные испарителями сжиженного углеводородного газа $Z_{\text{гpy}}$, определяются количеством квартир, подключаемых к одной резервуарной установке, и включают в себя затраты и эксплуатацию самих резервуарных установок Z_{py} , затраты в редуцирующие головки подземных резервуаров Z_{pc} , электрические испарители СУГ $Z_{\text{эи}}$, и находятся по выражению:

$$Z_{\text{гpy}}(n, q) = \frac{1}{n} [Z_{\text{py}}(n, q) + Z_{\text{pc}} + Z_{\text{эи}}(n, q)]. \quad (3)$$

В свою очередь удельные приведенные годовые затраты в распределительные газовые сети $Z_{\text{ргс}}$ в зависимости от типа застройки населенного пункта определяются [5]:

- при многорядной застройке:

$$Z_{psc}(n) = \frac{L \left[(a + bBn^{0.473} (0.125 + 0.182 \sqrt{\frac{1}{n}})^{0.368}) (\varphi + E) + \mu \right]}{n}; \quad (4)$$

- при двухрядной застройке:

$$Z_{psc}(n) = \frac{L \left[(a + bBn^{0.578}) (\varphi + E) + \mu \right]}{n}, \quad (5)$$

где L – суммарная протяженность газопроводов, м; a , b – стоимостные параметры, численные значения которых находятся путем обработки сметных материалов, р/(п.м.·см) [6]; φ – коэффициент, учитывающий амортизационные отчисления, 1/год [7]; E – коэффициент эффективности капитальных вложений, 1/год; μ – стоимость обслуживания 1 п.м. газопровода, р/(год·п.м.) [7]; B – параметр, численные значения которого определяются по следующим зависимостям:

- при многорядной застройке:

$$B = \left(\frac{0.75\alpha_0}{\Delta P} \right)^{0.21} \left(\frac{S}{q} \right)^{0.105} \left[k(q_{max}^{chac'''} + q_{max}^{chac''}) + q_{max}^{chac'} \right]^{0.368}; \quad (6)$$

- при двухрядной застройке:

$$B = \left(\frac{0.125\alpha_0}{\Delta P} \right)^{0.21} \left(\frac{S}{qn_0} \right)^{0.105} \left[0.28(k(q_{max}^{chac'''} + q_{max}^{chac''}) + q_{max}^{chac'}) \right]^{0.368}, \quad (7)$$

где α_0 – коэффициент, зависящий от состава газа (для паров пропан-бутана $\alpha_0 = 45,5 \frac{Па \cdot см^{4,75}}{м(м^3/ч)^{1,75}}$) [8]; ΔP – нормативный перепад давлений в распределительных газопроводах СУГ, даПа; S – коэффициент заселенности квартир, чел./кв; k – коэффициент одновременности работы газовых приборов, зависящий от типа приборов и числа газифицируемых квартир [9]; $q_{max}^{chac'''}$ – максимальный часовой расход СУГ на горячее водоснабжение, м³/ч [3]; $q_{max}^{chac''}$ – максимальный часовой расход СУГ на пищуприготовление, м³/ч [3]; $q_{max}^{chac'}$ – максимальный часовой расход СУГ на отопление, м³/ч [3].

Анализ расчетных затрат $Z_{сцгс}^{min}$ и $Z_{сдгс}$ показывает, что в области $q < q_{кр}$ имеет место соотношение $Z_{сцгс}^{min} > Z_{сдгс}$, а в области $q > q_{кр}$ имеет место соотношение $Z_{сцгс}^{min} < Z_{сдгс}$.

Таким образом, в области $q < q_{кр}$ целесообразно применение децентрализованных систем газоснабжения, а в области $q > q_{кр}$ целесообразно применение централизованных систем газоснабжения.

Преобразование целевой функции (1) с учетом (2-7) позволило определить критическую плотность населения на газоснабжаемой территории, $q_{кр}$, обуславливающую равенство затрат по сравниваемым системам газоснабжения при двухрядной и многорядной застройке населенного пункта и используемом газовом оборудовании у потребителя:

- газовые плиты, газовые печи периодического действия:

$$q_{кр}^{дв} = 124,77 \cdot 10^6 Z_{сдгс}^{-2,7}; \quad (8)$$

$$q_{кр}^{мн} = 15,8 \cdot 10^6 Z_{сдгс}^{-2,48}; \quad (9)$$

- газовые плиты и печи (котлы) непрерывного действия:

$$q_{кр}^{дв} = 12,55 \cdot 10^6 Z_{сдгс}^{-2,44}; \quad (10)$$

$$q_{кр}^{мн} = 6,73 \cdot 10^6 Z_{сдгс}^{-2,4}; \quad (11)$$

- газовые плиты, водонагреватели и газовые отопительные котлы непрерывного действия:

$$q_{кр}^{дв} = 31,74 \cdot 10^6 Z_{сдгс}^{-2,56}; \quad (12)$$

$$q_{кр}^{мн} = 31,09 \cdot 10^6 3_{сдс}^{-2,6}. \quad (13)$$

РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В целях численной реализации предложенной экономико-математической модели (1-13) были проведены соответствующие расчеты. В расчетах использовались следующие исходные данные и предпосылки:

- в качестве источника централизованного газоснабжения принята групповая резервуарная установка с подземными вертикальными резервуарами, оснащенная электрическим испарителем СУГ;
- в качестве источника децентрализованного газоснабжения принята индивидуальная резервуарная установка с подземным вертикальным резервуаром СУГ;
- схема регазификации СУГ естественная, в самих резервуарах СУГ – искусственная, на базе электрических испарителей;
- уличные распределительные газовые сети – тупиковые, выполнены из стальных газопроводов с подземной прокладкой;
- в качестве расчетных моделей застройки населенного пункта приняты два полярных варианта: многорядная застройка, характерная для поселков с компактной планировкой, и двухрядная (с застройкой зданиями вдоль улиц и проездов), характерная для поселков с разбросанной планировкой;
- плотность населения газоснабжаемой территории q варьировалась в пределах от $7,5 \cdot 10^{-3}$ до $0,6 \cdot 10^{-3}$ чел./м², при среднем коэффициенте заселенности зданий $S=3$ чел./зд и изменении площади приусадебных участков от 4 до 50 соток;
- характеристики газоснабжаемых зданий приняты:
- усадебные здания с газовым оборудованием – газовые плиты, газовые отопительные печи периодического действия;
- усадебные здания с газовым оборудованием – газовые плиты, газовые отопительные печи (котлы) непрерывного действия;
- коттеджные здания с газовым оборудованием – газовые плиты, водонагреватели и отопительные котлы непрерывного действия;
- охват потребителей централизованным газоснабжением от общего количества газифицированных квартир в населенном пункте – 25, 50, 75, 100%.

Критическая плотность населения на газоснабжаемой территории $q_{кр}$ приводится в таблице 1.

Таблица 1 – К выбору рациональной области применения централизованных и децентрализованных систем газоснабжения на базе резервуарных установок СУГ

Характеристика объекта газоснабжения	Критическая плотность населения $q_{кр} \cdot 10^{-3}$, чел./м ² при характере застройки населенного пункта:							
	многорядная				двухрядная			
	подключение потребителей к централизованной системе газоснабжения, %							
	25	50	75	100	25	50	75	100
усадебные здания с газовым оборудованием – газовые плиты, газовые отопительные печи периодического действия	$\frac{1.4}{2,12}$	$\frac{1.22}{1,8}$	$\frac{1.08}{1,6}$	$\frac{0.98}{1,45}$	$\frac{1.66}{2,23}$	$\frac{1.51}{2,03}$	$\frac{1.48}{1,99}$	$\frac{1.45}{1,95}$
усадебные здания с газовым оборудованием – газовые плиты, газовые отопительные печи (котлы) непрерывного действия	$\frac{1.06}{1.86}$	$\frac{0.9}{1.58}$	$\frac{0.8}{1.4}$	$\frac{0.73}{1.27}$	$\frac{1.22}{2.1}$	$\frac{1.11}{1.78}$	$\frac{1.09}{1.58}$	$\frac{1.07}{1.44}$

Характеристика объекта газоснабжения	Критическая плотность населения $q_{кр} \cdot 10^{-3}$, чел./м ² при характере застройки населенного пункта:							
	многорядная				двухрядная			
	подключение потребителей к централизованной системе газоснабжения, %							
	25	50	75	100	25	50	75	100
коттеджные здания с газовым оборудованием – газовые плиты, водонагреватели и отопительные котлы непрерывного действия	$\frac{0,78}{1,46}$	$\frac{0,66}{1,24}$	$\frac{0,59}{1,1}$	$\frac{0,54}{1,0}$	$\frac{0,98}{1,55}$	$\frac{0,89}{1,32}$	$\frac{0,82}{1,17}$	$\frac{0,79}{1,06}$

Примечание к таблице 1: в числителе – холодная климатическая зона; в знаменателе – умеренно-теплая климатическая зона.

Как видно из таблицы 1, рациональная область применения индивидуальных резервуарных установок зависит от вида застройки населенного пункта, характеристики газоснабжаемых зданий, климатической зоны эксплуатации. При этом определяющее влияние оказывает климатическая зона эксплуатации.

Так например, при газификации коттеджных зданий в умеренно-теплой климатической зоне и выборочном подключении потребителей к централизованной системе газоснабжения (75%) целесообразно использовать индивидуальные резервуарные установки с естественной регазификацией сжиженного углеводородного газа при $q \leq 1,1 \cdot 10^{-3}$ чел./м² (площадь приусадебного участка менее 27 соток). При плотности населения $q \geq 1,1 \cdot 10^{-3}$ чел./м² целесообразно применение централизованной системы газоснабжения от групповых резервуарных установок (площадь приусадебного участка более 27 соток). В то же время в холодной климатической зоне применение у потребителей индивидуальных резервуарных установок целесообразно при площади приусадебного участка менее 50 соток ($q \leq 0,59 \cdot 10^{-3}$ чел./м²), а групповых резервуарных установок с искусственной регазификацией СУГ при площади приусадебного участка более 50 соток ($q \geq 0,59 \cdot 10^{-3}$ чел./м²). Указанное обстоятельство необходимо учитывать в проектной практике, максимально привязывая проектные решения к конкретным особенностям газифицируемого населенного пункта.

Вывод

Внедрение приведенных в данной работе рекомендаций в широкую инженерную практику способствует совершенствованию структуры топливно-энергетического баланса сельских населенных пунктов за счет грамотного распределения газового топлива между потребителями при использовании централизованных и децентрализованных систем газоснабжения. Данное обстоятельство позволит вытеснить твердые и жидкие топлива из сферы бытового энергообеспечения, повысить уровень благоустройства и комфорта сельских квартир.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Осипова, Н.Н. Децентрализованные системы снабжения сжиженным газом от индивидуальных газобаллонных установок [Текст] / Н.Н. Осипова, Б.Н. Курицын, Е.В. Иванова // Строительная инженерия. – 2006. – №6. – С. 48-52.
- Иванова, Е.В. Поселковые системы газоснабжения на базе сжиженного углеводородного газа [Текст] / Е.В. Иванова, М.В. Павлутин // Вестник СГТУ. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2005. – С. 117-124.
- Курицын, Б.Н. Техничко-экономическое обоснование систем газоснабжения на базе резервуарных установок сжиженного газа [Текст] / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова // Вестник гражданских инженеров. – С-Пб: СПбГАСУ. – 2010. – №1 (22). – С. 134-141.
- Осипова, Н.Н. К определению удельных приведенных затрат в групповые резервуарные установки с электрическим испарителем [Текст] / Н.Н. Осипова // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: сб. науч. тр. 4-й междунаро. конф. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2008. – С. 125-130.
- Осипова, Н.Н. Оптимизация параметров распределительных газовых сетей [Текст] / Н.Н. Осипова // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнергоснабжения: межвуз. науч. сб. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2008. – С. 62-71.

6. Рекомендации по проектированию и строительству систем газоснабжения малых и средних городов и населенных пунктов сельской местности. – Саратов: Гипрониигаз, 1985. – 144 с.
7. Курицын, Б.Н. Системы снабжения сжиженным газом [Текст] / Б.Н. Курицын. – Саратов: Саратов. гос. ун-т, 1988. – 196 с.
8. Стаскевич, Н.Л. Справочник по сжиженным углеводородным газам [Текст] / Н.Л. Стаскевич, Д.Я. Вигдорчик. – Л.: Недра, 1986. – 543 с.
9. СП 42-101-2004 Свод правил. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 108 с.

Осипова Наталия Николаевна

Саратовский государственный технический университет, г. Саратов

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Тел.: +7 (8452) 99-88-93

E-mail: osnat75@mail.ru

OSIPOVA N.N.

RATIONAL CHOICE OF APPLICATIONS CENTRALIZED AND DECENTRALIZED SYSTEMS OF SUPPLY LIQUEFIED HYDROCARBON GAS

The article presents the results of mathematical economic research on the choice of a rational application of centralized and decentralized supply systems based on group and individual tank of liquefied petroleum gas installations. Substantiates the priority area of reservoirs with the natural evaporation of liquefied petroleum gas in the tanks themselves spending (decentralized systems) and group reservoir systems with artificial re-gasification-based electric vaporizers liquefied petroleum gas, depending on the type of gas-powered equipment at the consumer.

Keywords: liquefied petroleum gas, tank installation, economic and mathematical modeling, field of application.

BIBLIOGRAPHY

1. Osipova, N.N. Decentralizovannye sistemy snabzheniya szhizhennym gazom ot individual'nyh gazoballonnyh ustanoek [Текст] / N.N. Osipova, B.N. Kuricyn, E.V. Ivanova // Stroitel'naja inzhenerija. – 2006. – №6. – S. 48-52.
2. Ivanova, E.V. Poselkovye sistemy gazosnabzhenija na baze szhizhennogo uglevodorodnogo gaza [Текст] / E.V. Ivanova, M.V. Pavlutin // Vestnik SGTU. – Saratov: Sarat. gos. tehn. un-t, 2005. – S. 117-124.
3. Kuricyn, B.N. Tehniko-jekonomicheskoe obosnovanie sistem gazosnabzhenija na baze rezervuarnykh ustanoek szhizhennogo gaza [Текст] / B.N. Kuricyn, N.N. Osipova // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. – S-Pb: SPbGASU. – 2010. – №1 (22). – S. 134-141.
4. Osipova, N.N. K opredeleniju udel'nyh privedennykh zatrat v gruppovye rezervuarnye ustanovki s jelektricheskim isparitelem [Текст] / N.N. Osipova // Kachestvo vnutrennego vozduha i okruzhajuwej sredy: sb. nauch. tr. 4-j mezhdunarod. konf. – Volgograd: VolgGASU, 2008. – S. 125-130.
5. Osipova, N.N. Optimizacija parametrov raspredelitel'nyh gazovyh setej [Текст] / N.N. Osipova // Nauchno-tehnicheskie problemy sovershenstvovanija i razvitija sistem gazojenergосnabzhenija: mezhvuz. nauch. sb. – Saratov: Sarat. gos. tehn. un-t, 2008. – S. 62-71.
6. Rekomendacii po proektirovaniju i stroitel'stvu sistem gazosnabzhenija malych i srednih gorodov i naselennykh punktov sel'skoj mestnosti. – Saratov: Giproniigaz, 1985. – 144 s.
7. Kuricyn, B.N. Sistemy snabzhenija szhizhennym gazom [Текст] / B.N. Kuricyn. – Saratov: Sarat. gos. un-t, 1988. – 196 s.
8. Staskevich, N.L. Spravochnik po szhizhennym uglevodorodnym gazam [Текст] / N.L. Staskevich, D.Ja. Vигдорчик. – Л.: Nedra, 1986. – 543 s.
9. SP 42-101-2004 Svod pravil. Obwie polozhenija po proektirovaniju i stroitel'stvu gazoraspredelitel'nyh sistem iz metallicheskih i polijetilenovykh trub. – М.: FGUP CPP, 2004. – 108 s.

Osipova Natalia Nikolaevna

Saratov state technical university, Saratov

Candidate of technical science, senior lecturer of department «Teplogazosnabzhenie and ventilation»

Ph.: +7 (8452) 99-88-93

E-mail: osnat75@mail.ru

ПОЛАНДОВ Ю.Х., БАРГ М.А., БАБАНКОВ В.А.

О ВЛИЯНИИ ПЕРЕГОРОДКИ НА РАЗВИТИЕ ВЗРЫВА ГАЗО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ОБЪЕМЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Решалась задача влияния перегородки на время выгорания газо-воздушной смеси с использованием компьютерного и физического экспериментов. Компьютерное моделирование основывается на уравнениях Эйлера и соответствующими условиями распространения пламени. Уравнения решались с использованием метода крупных частиц. Модель способна адекватно рассчитывать горение газо-воздушных смесей в замкнутых объемах сложной формы, но это требует значительных вычислительных затрат. Результаты эксперимента показывают, что наличие перегородки приводит к уменьшению времени выгорания в удлиненных цилиндрических объемах (цилиндр длиной больше диаметра). Уменьшение максимально, когда перегородка расположена посередине емкости, а ее диаметр менее 0,35 диаметра цилиндра. Также показано, что перегородка с множеством отверстий приводит к увеличению времени выгорания в 1,5 раза по сравнению с одним отверстием равного суммарному диаметру.

Ключевые слова: воспламенение газа, замкнутый объем, время выгорания, влияние перегородки.

Введение

Определение пределов возможности интенсификации процесса выгорания (дефлаграционного взрыва) газо-воздушных смесей в замкнутом объеме за счет изменения его геометрических параметров имеет не только практическое, но и познавательное значение. Задача решалась двумя способами: компьютерным моделированием процесса и проведением физических экспериментов.

Понятно, что во всех опытах давление в результате выгорания будет одним и тем же в силу замкнутости объема, хотя опыты один от другого будут отличаться скоростью выгорания смеси, а, следовательно, и динамикой набора давления. Анализ результатов взрыва с опорой на эти характеристики процесса является наиболее полным. Однако значительную часть задач можно решить при использовании среднего (или среднеинтегральных по времени) значения скорости выгорания. Тогда, наряду с применением понятия средней скорости выгорания, уместно использование другого понятия – времени выгорания смеси (времени процесса, взрыва), значение которого может быть зарегистрировано на экспериментах достаточно уверенно. Тем более, что его значение, найденное при компьютерном моделировании по результатам анализа кривой выгорания смеси и кривой давления (точнее, производной от давления по времени) совпадают (рис. 1), что объясняется замкнутостью объема. Это обстоятельство дает возможность оценивать интенсивность процесса выгорания смеси временем выгорания, полученного при анализе кривых динамики давления как на вычислительном, так и физическом экспериментах, так как в обоих случаях эта динамика известна.

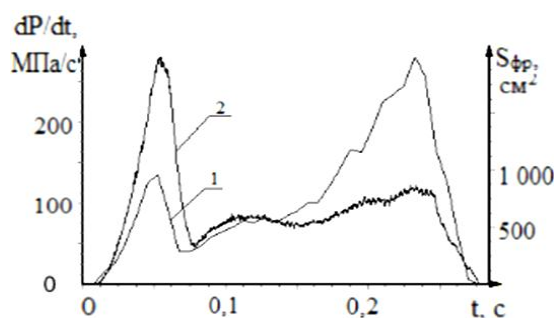


Рисунок 1 – Изменение dp/dt (1) и площади фронта горения смеси $S_{фр}$ (2) во время взрыва

Отметим также, что компьютерным моделированием можно решить задачи, требующие проведения эксперимента, включающего серию вычислительных опытов. В наших экспериментах последовательно от опыта к опыту изменялись геометрические характеристики диафрагмы, устанавливаемой в цилиндрическом объеме, для выяснения влияния этих изменений на динамику развития взрыва. Результаты каждого опыта записаны в табличной форме, а затем при помощи интерполяционных и аппроксимационных методов дано им либо аналитическое, либо графическое представление. Такой подход позволяет в дальнейшем при необходимости решения задачи для какого-либо промежуточного значения изменяемого параметра не обращаться к трудоемкому процессу моделирования, а использовать полученные зависимости.

1. Общая характеристика экспериментов

Решались три задачи, в каждой из которых исследовалось влияние одного из факторов на время выгорания смеси: в первой – влияние диаметра отверстия на диафрагме, во второй – места положения диафрагмы и в третьей – влияние числа отверстий на диафрагме. Основным методом исследований был вычислительный эксперимент, хотя при решении двух задач использовался и метод прямого физического эксперимента. Основное назначение физических опытов – подтверждение адекватности математической модели. Эксперименты «проводились» на объеме цилиндрической формы, имеющей диаметр $d=200$ мм и длину $L=1500$ мм, заполненной однородной стехиометрической смеси газов пропан-бутан-воздух. «Зажигание» смеси производилось у левого торца по оси цилиндра. Внутри объема на фиксированном расстоянии от левого торца располагалась поперечная диафрагма с отверстиями.

Вычислительные опыты проводились с помощью разработанного ранее программного продукта «Вулкан М», зарекомендовавшего себя как вполне адекватная компьютерная модель [1]. В этой модели используется известная система уравнений газовой динамики Эйлера в дифференциальной форме, которая была дополнена механизмом распространения пламени и теплообменом на границах объема. Решение системы основано на методе крупных частиц, автором которого является Ю.М. Давыдов [2]. Объем, в котором происходил взрыв, был разделен на кубические частицы со сторонами $10 \times 10 \times 10$ мм. В расчетах было принято, что смесь представляет собой идеальный газ.

Физические эксперименты проводились на специальной установке в автоматизированном режиме с применением компьютеризированной системы управления и измерения параметров процесса и оригинального программного продукта, обеспечивающего проведение эксперимента, в том числе подготовку однородной стехиометрической газо-воздушной смеси, проведение взрыва, запись давления в нескольких точках объема и предварительную обработку опытных данных.

2. Влияние диаметра отверстия на диафрагме на время выгорания смеси

На первом эксперименте в цилиндрическом объеме на расстоянии 450 мм от левого фланца была установлена перегородка с отверстием по оси, диаметр которого менялся от опыта к опыту от 10 мм до границ цилиндра. Зажигание смеси осуществлялось у левого фланца.

Ожидалось, что уменьшение диаметра отверстия приведет к увеличению давления в левой части и скорости истечения через сужение. В результате этого истекающая струя «разнесет» горящие ячейки по правой части объема, тем самым увеличит площадь фронта горения, что сократит длительность взрыва.

В качестве примера на рисунке 2 приведена визуализированная картина развития взрыва при положении диафрагмы на расстоянии от левого торца 450 мм. На рисунке принято считать за нулевую точку отсчета ($\tau=0$) время подачи команды «зажигание». Серые клетки соответствуют ячейкам с низкой температурой, это по большей части исходная смесь процесса. Продукты сгорания, как высокотемпературная часть смеси, обозначены светлыми ячейками. Фронт горения представлен темными ячейками. Можно обратить внимание на то, что со временем при увеличении давления в объеме и сжатия частиц несгоревшей исходной смеси они светлеют, что соответствует увеличению их температуры. Фронт пламени на начальной

стадии распространяется в левой полости по схеме, близкой к типичной для полого цилиндра (рис. 3). По достижению фронтом горения отверстия на диафрагме пламя устремляется в правую полость со скоростью потока.

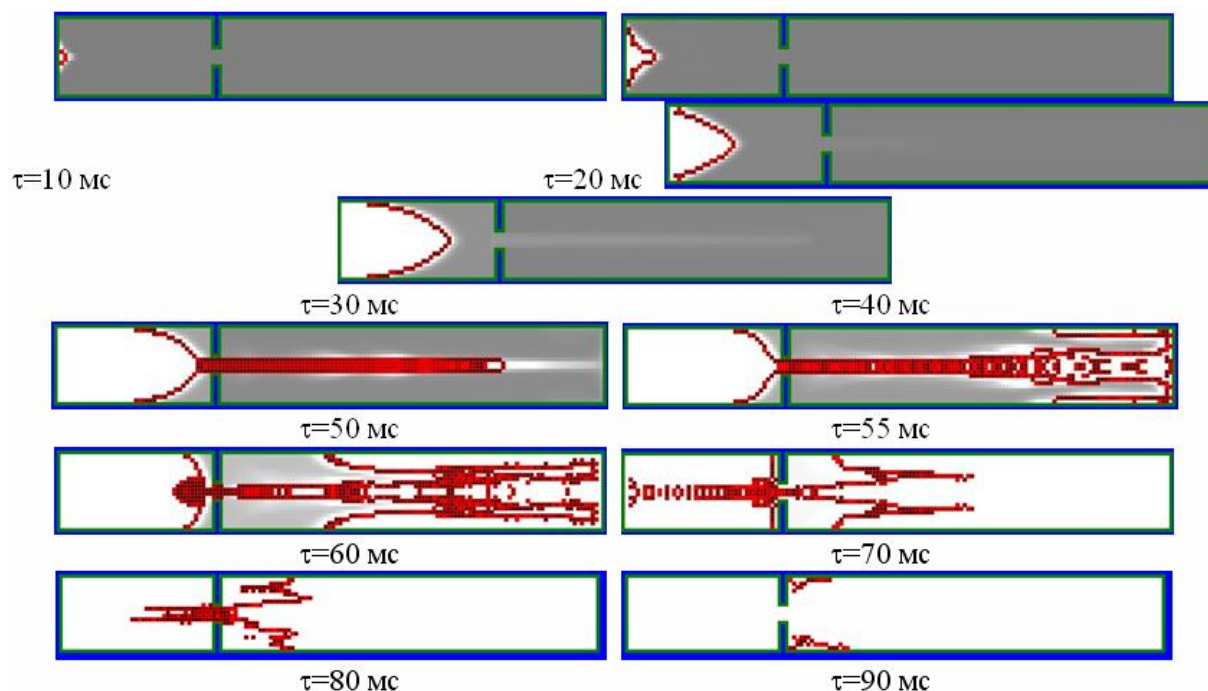


Рисунок 2 – Динамика взрыва в цилиндре с диафрагмой $d=65$ мм, расстояние от левого торца 450 мм



Рисунок 3 – Динамика взрыва в полом цилиндре

Этот поток смеси «разносит», как и предполагалось, пламя по полости, вовлекая в процесс горения значительное число одновременно горящих ячеек или, говоря по-другому, на этом опыте за счет течения через диафрагму резко увеличивается площадь фронта горения, которая имеет площадь, значительно превосходящую ту, которую имеет фронт при взрыве в цилиндре без диафрагмы (рис. 4). Видно, что в отдельные моменты времени площадь фронта горения при горении с диафрагмой более чем в три раза превышает аналогичную площадь при взрыве в полом цилиндре. Истекающая через диафрагму струя является доминирующим фактором влияния на интенсивность процесса. Результаты эксперимента приведены на рис. 5. Видно, что они подтверждают выдвинутую гипотезу о возможном влиянии

янии диафрагмы на время выгорания газо-воздушной смеси. Зависимость времени выгорания от диаметра отверстия характерна в основном на участке изменения диаметра от 200 до 65 мм, для отверстий меньшего диаметра время выгорания практически мало меняется и составляет около 90 ms.

Физические опыты подтвердили достаточную адекватность компьютерной модели.

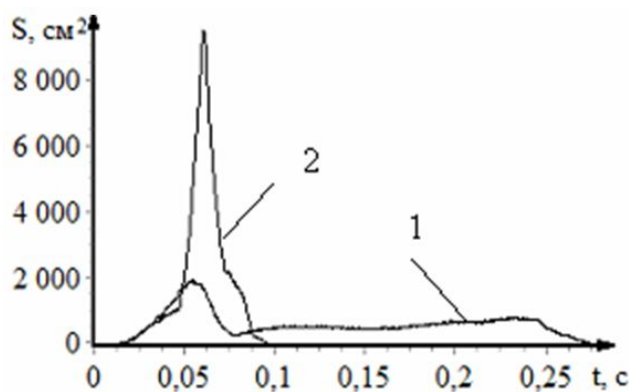


Рисунок 4 – Динамика площади фронта горения в полном цилиндре (1) и при диафрагме (2)

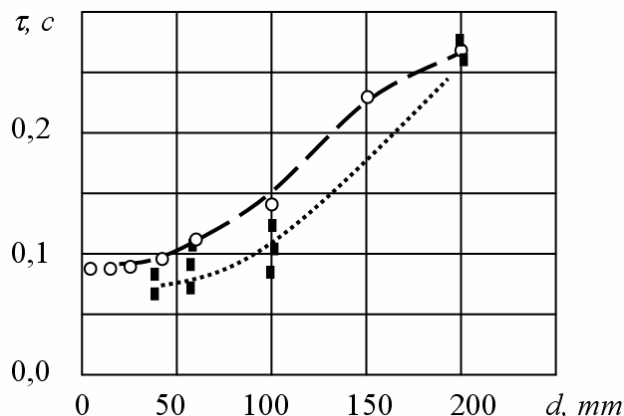


Рисунок 5 – Зависимость времени выгорания от диаметра отверстия на диафрагме:
○ – вычислительный эксперимент,
■ – физический эксперимент

3. Влияние расположения диафрагмы на время выгорания смеси

Проведение этого эксперимента обусловлено гипотезой о влиянии на интенсивность процесса выгорания таких показателей струи, как мощность и длительность истечения, на уровень которых влияет размер объема, где формируются условия создания струи. Предполагается, что с увеличением размеров левой полости возрастают эти показатели. Струя через образующиеся вихри увеличивает площадь фронта горения. Это с одной стороны. С другой стороны, важна величина объема, на который происходит влияние струй: чем он больше, тем это влияние больше. Но, так как объем, из которого истекает струя, и тот, в который она втекает, связаны между собой, то максимальное влияние диафрагма с отверстием окажет тогда, когда она будет расположена в средней части цилиндра.

На рисунке 6 приведены результаты вычислительного и физического экспериментов для различных положений диафрагмы с отверстием 65 мм. Видно, что и эта гипотеза подтверждается, хотя в вычислительный эксперимент показывает более сильно выраженную зависимость.

4. Влияние числа отверстий на время выгорания смеси

Казалось бы, увеличение числа отверстий на диафрагме должно привести в правой части объема к росту площади контакта горячей струи со смесью, что связано с увеличением площади фронта горения. А это, в свою очередь, сократило бы время выгорания смеси. Для проверки гипотезы было проведено 4 вычислительных опыта с диафрагмой, установленной на расстоянии 450 мм от левого торца, и имеющей 1, 2, 4 и 8 отверстий, суммарная проходная площадь которых одинакова и эквивалентна отверстию с диаметром 65 мм.

На рисунке 7 показана картина развития взрыва при 4-х отверстиях по 8 см². Центры отверстий расположены концентрически относительно оси цилиндра и в сечении на рисунке не попали. Результаты эксперимента приведены на рисунке 8. Они опровергают ожидаемое и показывают противоположный результат: с увеличением числа отверстий время выгорания увеличивается. Максимально достигнутый результат – 1,5 кратное увеличение времени выгорания смеси.

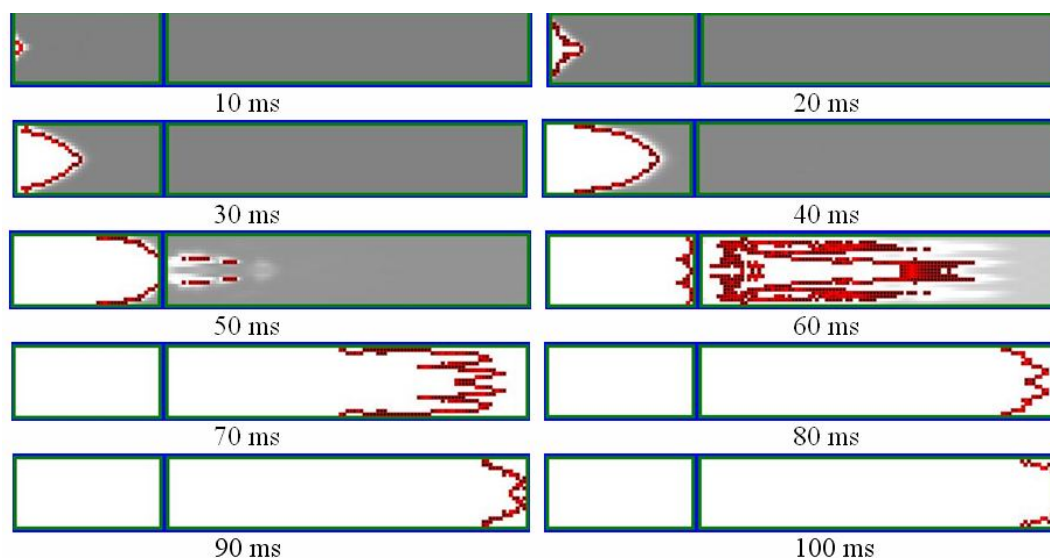


Рисунок 6 – Динамика взрыва с четырьмя отверстиями в диафрагме

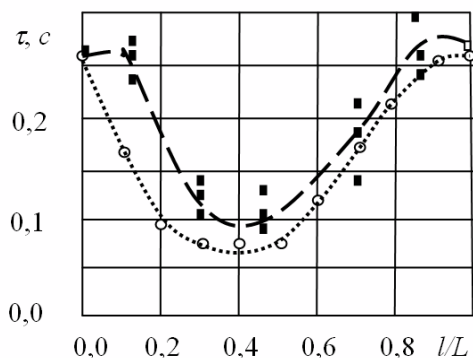


Рисунок 7 – Длительность времени выгорания в зависимости от положения диафрагмы с диаметром 65 мм

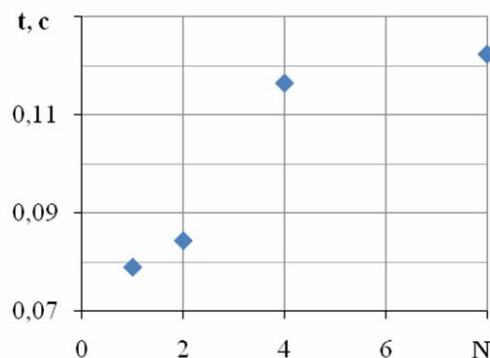


Рисунок 8 – Влияние числа отверстий на время выгорания смеси

Заключение

Использование диафрагм с отверстиями в объемах удлиненной формы серьезно влияет на время выгорания газо-воздушной смеси. Уменьшение диаметра отверстия на диафрагме (до определенных значений) и сдвиг диафрагмы к середине объема способствуют сокращению времени выгорания. Влияние этих факторов ограничено 2,5 кратным сокращением времени выгорания. Увеличение же числа отверстий на диафрагме при фиксированном значении их суммарной площади, наоборот, способствуют росту времени выгорания. Влияние этого фактора ограничено 1,5 кратным увеличением времени выгорания. Исследования проведены при содействии Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), проект 09-08-99019 офи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поландов, Ю.Х. Моделирование процесса горения газо-воздушной смеси методом крупных частиц [Текст] / Ю.Х. Поландов, М.А. Барг, С.А. Власенко // Пожаро-взрывобезопасность: Научно-технический журнал ООО «Пожнаука», 2007. – Т. 16. – №3. – С. 6-9.
2. Davydov, Yu.M. Large-particle method [Tekst] / Yu.M. Davydov // In: Encyclopaedia of Mathematics. Vol. 5. – Dordrecht / Boston / London: Kluwer academic publishers, 1990. – P. 358-360.

Поландов Юрий Христофорович

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

Доктор технических наук, профессор кафедры «Высшая математика»

Тел.: + 7 (4862) 41-32-95

E-mail: polandov@yandex.ru

Барг Михаил Аркадьевич

ООО «Космиго»

Кандидат технических наук, ведущий программист ООО «Космиго»

Тел.: +7 (4862) 41-32-95

E-mail: mikemvpi@yandex.ru

Бабанков Виталий Александрович

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

Аспирант кафедры «Высшая математика»

Тел.: +7 (4862) 41-32-95

E-mail: xenos1987@mail.ru

POLANDOV Yu.H., BARG M.A., BABANKOV V.A.

ABOUT INFLUENCE OF THE PARTITION ON DEVELOPMENT OF EXPLOSION OF THE GAZO-AIR MIX IN VOLUME OF THE CYLINDRICAL FORM

The influence of obstacles on the gaseous fuel mixture burnout time was investigated using computational and physical experiments. The computer simulate is based on the Euler equations and appropriate flame propagation conditions. The equations are solved using the large-particle method. Model is capable adequately simulate the combustion gas-air mixtures in a volume of arbitrary shape, and it requires moderate computational cost. The results of the experiment show that the presence of the obstacles leads to the decrease of the burnout time in elongated cylindrical volumes (cylinder length greater than diameter). The decrease is maximal (2.5 times) when the obstacle is placed in the middle of the volume and the diameter of the obstacle clearance is less than 0.35 of the cylinder diameter. It's also shown that the obstacle with plural orifices leads to the increasing of time duration by 1,5 in comparison with the single orifice with the same total area.

Keywords: gas explosion, closed volume, time burnout, influence of the volume forms.

BIBLIOGRAPHY

1. Polandov, Ju.H Modelirovanie processa gorenija gazo-vozdushnoj smesi metodom krupnyh chastic [Tekst] / Ju.H. Polandov, M.A. Barg, S.A. Vlasenko // Pozharo-vzryvobezopasnost': Nauchno-tehnicheskij zhurnal ООО «Pozhnauka», 2007. – Т. 16. – №3. – С. 6-9.
2. Davydov, Yu.M. Large-particle method [Tekst] / Yu.M. Davydov // In: Encyclopaedia of Mathematics. Vol. 5. – Dordrecht / Boston / London: Kluwer academic publishers, 1990. – P. 358-360.

Polandov Yuri Hristoforovich

State university – educational-science-production complex, Orel

Doctor of technical science, professor of department «Higher mathematics»

Ph.: +7 (4862) 41-32-95

E-mail: polandov@yandex.ru

Barg Michael Arkadevich

LLC «Cosmigo»

Candidate of technical science, the leading programmer of LLC «Cosmigo»

Ph.: +7 (4862) 41-32-95

E-mail: mikemvpi@yandex.ru

Babankov Vitaly Aleksandrovich

State university – educational-science-production complex, Orel

Post-graduate student of department «Higher mathematics»

Ph.: +7 (4862) 41-32-95

E-mail: xenos1987@mail.ru

ТУРКОВ А.В., МАРФИН К.В.

ПРОГИБЫ И ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СОСТАВНЫХ КРУГЛЫХ ИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН С РАЗЛИЧНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЖЕСТКОСТИ СВЯЗЕЙ СДВИГА

Рассматривается взаимосвязь основной частоты свободных поперечных колебаний ω двухслойных изотропных круглых пластин в ненагруженном состоянии и их максимальных прогибов W_0 при действии равномерно распределенной нагрузки в зависимости от граничных условий слоев и жесткости связей сдвига. Разработана конечно-элементная схема двухслойной пластины. Построены кривые «прогиб – жесткость связей сдвига» и «частота поперечных колебаний – жесткость связей сдвига». Показано, что для составных пластинок круглого очертания с различными граничными условиями слоев коэффициент K с точностью до 5,425% при шарнирном опирании пластины по контуру до 5,667% при жестком опирании.

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

Пластинки являются широко распространенным конструктивным элементом в строительстве. Их формы бывают разнообразными, а граничные условия могут быть различны. Современные здания нередко включают в себя несущие элементы, которые представляют или аппроксимируют пластинки круглого очертания. В связи с этим возникает потребность не только в расчете этих конструкций, но и в их диагностике и оценки качества.

В ряде работ проф. В.И. Коробко, например, [1] была установлена фундаментальная закономерность для изотропных пластин постоянного сечения, согласно которой независимо от вида граничных условий пластины произведение ее максимального прогиба W_0 от действия равномерно распределенной нагрузки q на квадрат основной частоты колебаний в ненагруженном состоянии ω с точностью до размерного множителя q/t есть величина постоянная:

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

где t – равномерно распределенная по площади масса пластины.

В отличие от изотропных пластин цельного сечения для составных пластин эта закономерность еще мало изучена. Решение этой проблемы представляет не только научный, но и практический интерес.

В работе [2] выведены основные уравнения для составных стержней и пластин с упругоподатливыми поперечными связями и связями сдвига. Чтобы подтвердить закономерность (1) для составных пластин, были проведены численные исследования круглой составной двухслойной пластины при различных граничных условиях. При проведении исследований принят ряд ограничений, сужающих круг рассматриваемых в работе задач: пластинки выполнены из однородного и изотропного материала; толщина и изгибная (цилиндрическая) жесткость пластинок постоянны.

В качестве расчетной конструкции была принята 48-угольная пластина радиусом $r = 500$ мм (рис. 1). Оба слоя разбивались на 960 конечных элементов. Поперечные связи и связи сдвига вводились в узлы конструкции (рис. 2). Было рассмотрено два условия закрепления пластин по контуру: шарнирное опирание и жесткое защемление (рис. 3). Опоры по кон-

туру плиты располагались в узлах конечных элементов конструкции, при этом граничные условия слоев были одинаковыми.

Слои составной пластинки приняты постоянного сечения толщиной $\delta = 8$ мм из древесно-стружечной плиты. Все характеристики слоев взяты из паспорта изделия: толщина $\delta = 8$ мм, средняя плотность $\rho = 740$ кг/м³, модуль упругости при изгибе $E = 260000$ МПа. Жесткость поперечных связей принималась соответствующей стальному нагелю диаметром 2 мм и при исследованиях оставалась постоянной (составляет $EA_c = 647199$ Н). Жесткость связей сдвига EA_{cc} для всех пластин изменялась в пределах от 10^{-6} до 10^8 кН. Для динамического расчета массы в узлах собирались в соответствии с объемным весом и грузовой площадью узла. При статическом расчете к верхнему слою прикладывалась равномерно распределенная нагрузка интенсивностью 1 кН/м². Исследования проводились методом конечных элементов. Расстояние между слоями принималось равным расстоянию между их центрами тяжести слоев.

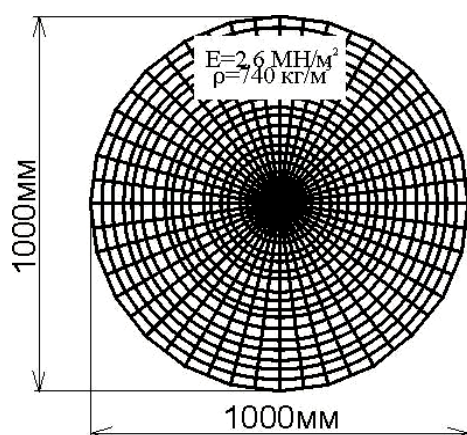


Рисунок 1 – Разбивка составной круглой пластины на конечные элементы

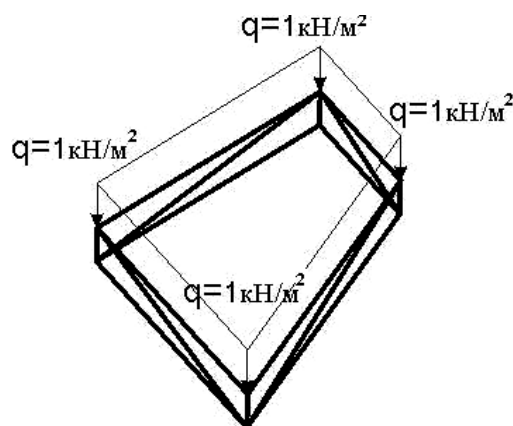


Рисунок 2 – Четырехугольные конечные элементы пластины с поперечными связями и связями сдвига

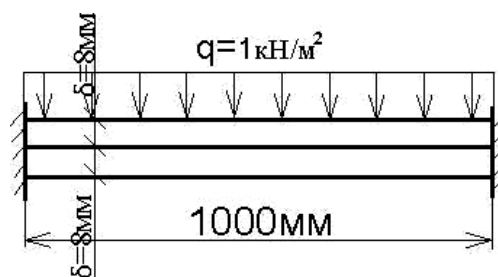
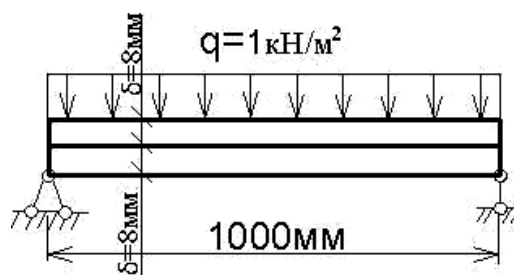


Рисунок 3 – Расчетные схемы шарнирно опертой и защемленной по контуру составной круглой пластины

Расчет выполнялся в программном комплексе SCAD. В результате расчета определялся максимальный прогиб и частота основного тона поперечных колебаний. Результаты расчета шарнирно опертой пластины приведены в таблице 1. По данным таблицы 1 построены графики изменения прогибов и частот колебаний и коэффициента k в зависимости от жесткости связей сдвига EA_{cc} в пределах от 10^{-6} до 10^8 Н (рис. 4, 5).

Результаты расчета жестко защемленной по контуру пластины приведены в таблице 2. По данным таблицы 2 построены графики изменения прогибов и частот колебаний и коэффициента k в зависимости от жесткости связей сдвига EA_{cc} в пределах от 10^{-6} до 10^8 кН (рис. 6, 7).

Таблица 1 – Результаты численных исследований составной круглой пластины радиусом $r = 500$ мм, шарнирно опертой по контуру

№ п/п	$\lg EA_{\text{сдв}}$	Круговая частота основного тона, ω (с ⁻¹)	Максимальный прогиб, W_0 (мм)	Круговая частота основного тона, вычисленная аналитическим методом, ω (с-1)	Максимальный прогиб, вычисленный аналитическим методом, W_0 max (мм)	$K = W_0 \omega^2 / (q/m)$	$K = W_0 \omega^2 / (q/m)$ на основе аналитических W и ω	Отклонение K от $K_{\text{аналит}}$ %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-6	89,43915	16,012350	91,35171	16,35476	1,545942	1,579	-2,094
2	-5	89,43915	16,012350			1,545942		-2,094
3	0	89,46068	16,004320			1,545910		-2,096
4	1	89,65390	15,932480			1,545626		-2,114
5	2	91,53955	15,255610			1,542872		-2,288
6	3	106,84940	11,045870			1,522043		-3,607
7	3,3	119,06120	8,815766			1,508284		-4,479
8	3,7	142,07390	6,131919			1,493852		-5,392
9	3,9	155,86890	5,092825			1,493346		-5,425
10	4	162,55250	4,688677			1,495272		-5,303
11	4,3	182,47090	3,752909			1,508127		-4,488
12	4,7	203,47610	3,059154			1,528660		-3,188
13	4,9	211,13500	2,855252			1,536199		-2,711
14	5	214,06580	2,782424			1,538865		-2,542
15	6	227,42480	2,478748			1,547358		-2,004
16	7	229,32650	2,438265			1,547648		-1,986
17	8	229,53900	2,433758			1,547651		-1,985
18	9	229,58710	2,433300	234,1835	2,482015	1,548008		-1,963

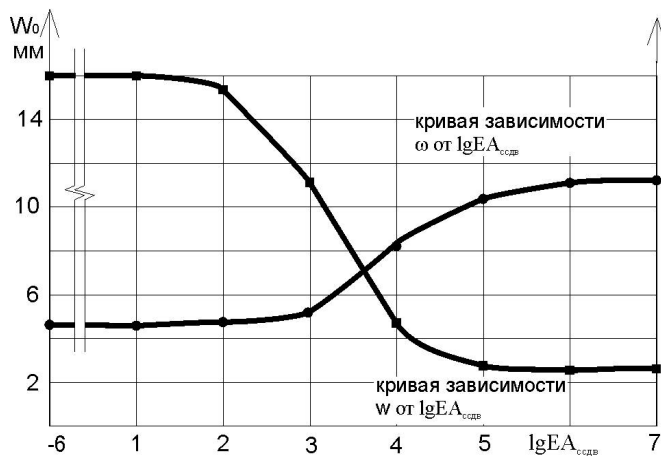


Рисунок 4 – Изменение частот собственных колебаний и прогибов в зависимости от жесткости связей сдвига при шарнирном опирании по контуру

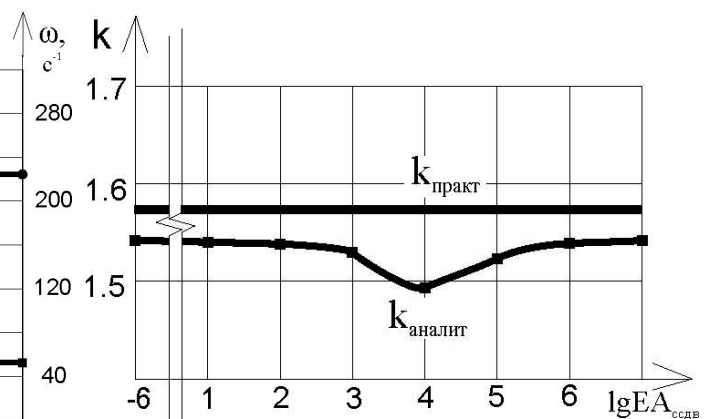


Рисунок 5 – Изменение коэффициента k в зависимости от жесткости связей сдвига при шарнирном опирании по контуру

Таблица 2 – Результаты численных исследований составной круглой пластины $r=500$ мм жестко защемленной по контуру

№ п/п	$\lg EA_{\text{сдв}}$	Круговая частота основного тона, ω (с ⁻¹)	Максимальный прогиб, W_0 (мм)	Круговая частота основного тона, вычисленная аналитическим методом, ω (с-1)	Максимальный прогиб, вычисленный аналитическим методом, W_0 max (мм)	$K = W_0 \omega^2 / (q/m)$	$K = W_0 \omega^2 / (q/m)$ на основе аналитических W и ω	Отклонение K от $K_{\text{аналит}}$ %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-6	185,9263	3,887632	186,7293	3,904422	1,621995	1,629	-0,430
2	-5	185,9263	3,887632			1,621995		-0,430
3	0	185,9427	3,886872			1,621964		-0,432
4	1	186,09	3,880049			1,621683		-0,449
5	2	187,5451	3,813628			1,618946		-0,617
6	3	200,4591	3,291021			1,596118		-2,019

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	3,3	212,1507	2,905102			1,578095	1,629	-3,125
8	3,7	237,3967	2,278157			1,549586		-4,875
9	3,9	254,4907	1,969091			1,539190		-5,513
10	4	263,2965	1,836586			1,536682		-5,667
11	4,3	291,6141	1,501342			1,540917		-5,407
12	4,7	324,999	1,228405			1,565988		-3,868
13	4,9	338,0599	1,145536			1,580079		-3,003
14	5	343,1604	1,115918			1,586022		-2,638
15	6	366,3646	0,996473			1,614267		-0,904
16	7	369,3341	0,982570			1,617652		-0,697
17	8	369,6436	0,981127			1,617984		-0,676
18	9	369,6748	0,980982	372,1838	0,98764	1,618018		-0,674

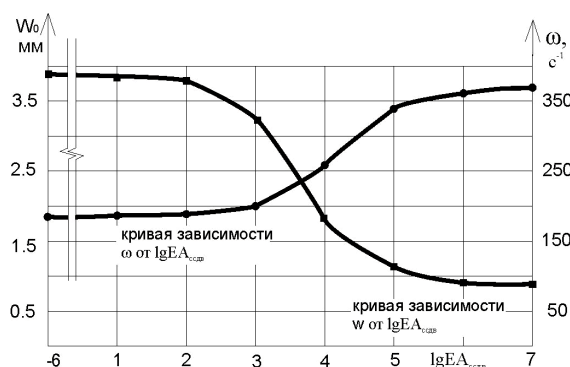


Рисунок 6 – Изменение частот собственных колебаний в зависимости от жесткости связей сдвига при жестком защемлении пластины по контуру

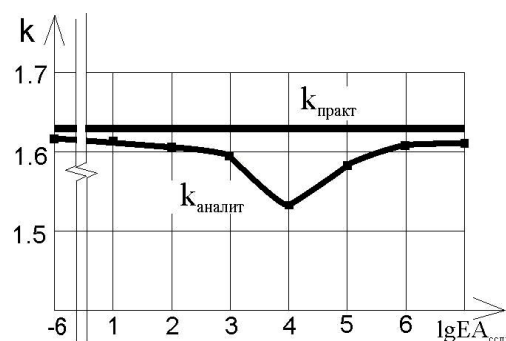


Рисунок 7 – Изменение коэффициента k в зависимости от жесткости связей сдвига при жестком защемлении пластины по контуру

Анализ данных показывает, что независимо от жесткости шва в составе пластин фундаментальная зависимость (1) выполняется. Можно сделать предположение, что при разбиении пластин на более мелкие конечные элементы разница между теоретическими и численными данными уменьшится.

Заключение

В результате численных и теоретических исследований составных изотропных пластин на податливых связях была подтверждена фундаментальная зависимость (1), а результаты показали хорошее совпадение по коэффициенту K . Расхождение для круглых пластин составило от 5,425% при шарнирном опирании пластины по контуру, до 5,667% при жестком опирании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробко, В.И. Об одной «замечательной» закономерности в теории упругих пластинок [Текст] / В.И. Коробко // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1989. – №11. – С. 32-36.
2. Ржаницын, А.Р. Составные стержни и пластинки [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1986. – 316 с.

Турков Андрей Викторович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции и материалы»
Тел.: +7 (4862) 73-43-49

Марфин Кирилл Васильевич

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Аспирант кафедры «Строительные конструкции и материалы»
Тел.: +7 (4862) 73-43-49
E-mail: marfinkirill@yandex.ru

TURKOV A.V., MARFIN K.V.

DEFLECTION AND NATURAL FREQUENCY COMPOSITE CIRCULAR ISOTROPIC PLATES WITH VARIOUS BOUNDARY CONDITIONS FOR CHANGE STIFFNESS SHEAR

Examines the relationship of the fundamental frequency of free transverse vibrations w bi-layer isotropic circular plates in the unloaded state and maximum deflection under the action of W_0 uniformly distributed load? Depending on the boundary conditions and the hardness of the layers shift linkages. Time work scheme finite-element two-layer plate. Curves "Deflection – stiffness relationship shift" and "Frequency of transverse vibrations – stiffness relationship shift". It is shown that for the composite plans thin round shapes with different boundary conditions to the ratio of layers up to 4,9% for hinged support plate along the contour to 6,78 % with a hard bearing coincides with the analytical value.

Keywords: composite plate, connection shear, cross-connection, the natural frequency of oscillation, the maximum deflection.

BIBLIOGRAPHY

1. Korobko, V.I. Ob odnoj «zamechatel'noj» zakonomernosti v teorii uprugih plastinok [Tekst] / V.I. Korobko // Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura. – 1989. – №11. – S. 32-36.
2. Rzhanicyn, A.R. Sostavnye sterzhni i plastinki [Tekst] / A.R. Rzhanicyn. – M.: Strojizdat, 1986. – 316 s.

Turkov Andrey Viktorovich

State university – educational-science-production complex, Orel

Doctor of technical science, professor of department «Construction structures and materials»

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

Marfin Kirill Vasilevich

State university – educational-science-production complex, Orel

Post-graduate student of department «Construction structures and materials»

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

E-mail: marfinkirill@yandex.ru

УТКИН В.С., РЕДЬКИН А.Н.

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СТАЛЬНОЙ БАЛКИ С ГИБКОЙ СТЕНКОЙ ПО КРИТЕРИЮ ПРОЧНОСТИ СТЕНКИ ПРИ ОГРАНИЧЕННОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ НЕРАВЕНСТВА ЧЕБЫШЕВА

Представлены требования к механической безопасности, указанные в законе РФ №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Представлена новая методика расчета надежности как одна из мер безопасности стальной балки по критерию прочности, построенная на распределениях, полученных на основе неравенства Чебышева. Рассматривается новый метод расчетов надежности несущего элемента при неполной (ограниченной) информации о параметрах модели. Такая ситуация часто встречается на практике расчетов надежности несущих элементов зданий и сооружений на стадии эксплуатации, когда известны значения только выборочного математического ожидания и среднего квадратического отклонения.

Ключевые слова: надежность, безопасность, ограниченная информация, неравенство Чебышева, интервальные распределения, прочность.

С 01 июля 2010 года вступил в силу закон РФ №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», в котором содержатся требования к механической безопасности зданий и сооружений с учетом их различного уровня ответственности.

Выполнение требований к механической безопасности по приведенному закону должно быть «обосновано расчетами», подтверждающими то, что в процессе эксплуатации здания или сооружения его строительные конструкции не достигнут предельного состояния по прочности и устойчивости при одновременном воздействии различных эксплуатационных нагрузок и иных воздействий.

Мерой безопасности несущих элементов и конструкций в целом является надежность, т.е. способность ими выполнять требуемые функции в течение установленного (расчетного) срока эксплуатации.

Обеспечение расчетом механической безопасности, в частности прочности несущих элементов и конструкций в целом осуществляется различными методами теории надежности, получившими существенное развитие в последнее время для различных объектов и их частей в зависимости от полноты (неполноты) статистической информации о параметрах в математических моделях предельных состояний.

Информация о параметрах модели считается полной, если о них известны функции (законы) распределения, известны значения параметров этих распределений, зависимость или независимость между параметрами, а для конструкции в целом известна структурная схема в понятиях теории надежности.

Отсутствие такой полной информации принято называть неполной или ограниченной информацией. При полной информации о параметрах модели расчеты надежности несущих элементов осуществляются на основе теории вероятностей и математической статистики (вероятностный метод расчета).

В настоящей статье предлагается рассмотреть новый метод расчетов надежности несущего элемента при неполной информации о параметрах модели. Такая ситуация нередко встречается на практике расчетов надежности несущих элементов зданий и сооружений на стадии эксплуатации, а именно при известных значениях только выборочного математического ожидания и среднего квадратического отклонения. С методами расчетов надежности несущих элементов в других ситуациях можно познакомиться в работе [1].

Предварительно остановимся на вопросе, почему авторы в качестве примера по расчету надежности несущего элемента выбрали стальную балку с гибкой стенкой. Известно [2], что балки с гибкой стенкой наиболее экономичные и легкие. Для них используются высокопрочные стали. Такие балки в последнее время получают все большее использование в конструкциях, а истории их эксплуатации недостаточно, чтобы выработать практические требования по обеспечению их механической безопасности. Следует отметить, что балка с гибкой стенкой представляет собой механическую систему, в понятиях теории надежности состоящую из отдельных конструктивных элементов и рассчитываемую по нескольким критериям ее работоспособности. Для оценки ее надежности нужно знать структурную схему из элементов балки, включая в число элементов и виды предельных состояний (последовательная, параллельная, смешанная), а также надежность по каждому элементу. В «запас» (теоретической) надежности принимаем условно невзаимодействия между элементами, ибо для учета зависимости необходимо выявление степени зависимости, что на практике представляет большие трудности. Наиболее сложной является расчет надежности каждого элемента механической системы.

На рисунке 1 изображен фрагмент стальной балки с гибкой стенкой.

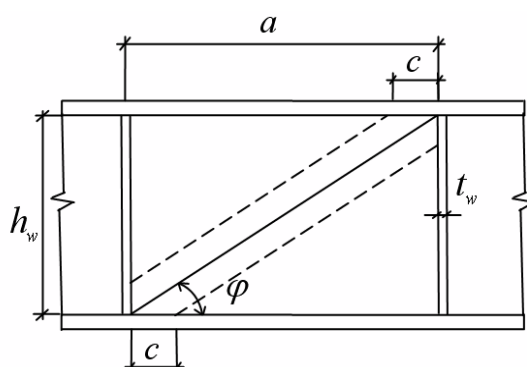


Рисунок 1 – Отсек балки с гибкой стенкой

Известно [2], что работоспособность балки с гибкой стенкой определяется следующими критериями: чистым сдвигом в крайних отсеках, где наибольшее значение поперечной силы, а изгибающий момент весьма мал; сдвигом и изгибом отсека одновременно; устойчивостью крайних сжатых ребер жесткости; прочностью стенки при действии сосредоточенных сил; прочностью пояса и т.д.

Рассмотрим методику расчета надежности по одному из критериев – по прочности стенки балки в наиболее нагруженном отсеке (в стадии предельного равновесия), где действует наибольшая поперечная сила Q и должно выполняться по [2] в детерминированной постановке условие:

$$\sigma = (Q - Q_{cr}) / (2t_w c \sin^2 \varphi) + 1,7\tau_{cr} \leq R_y \gamma_c, \quad (1)$$

где Q_{cr} – значение поперечной силы, соответствующее моменту местной потери устойчивости стенки между ребрами, равно $Q_{cr} = \tau_{cr} t_w h_w$; τ_{cr} – критическое касательное напряжение; R_y – расчетное сопротивление стали по пределу текучести σ_T ; R_s – расчетное сопротивление стали по сдвигу (срезу); c – коэффициент, отражающий степень развития пластических деформаций. Для балки по рисунку 1 $c=1,47$; γ_c – коэффициент условий работы (детерминированная величина).

По [2] $\tau_{cr} = 10,3(1 + 0,76/\mu^2)R_s / \bar{\lambda}_{ef}^2$, $\bar{\lambda}_{ef}^2 = (d/t_w)\sqrt{R_y/E}$, d – меньшая из сторон отсека (h_w или a), а $\mu = a/h_w > 1$ или, наоборот, $\mu = h_w/a > 1$. По рисунку 1 $tg\varphi = h_w/a$.

Для расчета надежности учитывается изменчивость контролируемых параметров и расчетные сопротивления заменяются соответствующими предельными напряжениями. Для

такого случая математическая модель предельного состояния по критерию прочности стенки примет вид:

$$(\tilde{Q} - \tilde{Q}_{cr}) / (2t_w c \sin^2 \varphi) + 1,7\tilde{\tau}_{cr} \leq \tilde{\sigma}_T \gamma_c. \quad (2)$$

Для определения выборочного математического ожидания поперечной силы $m_Q = \bar{Q}$ и среднего квадратического отклонения S_Q организуется мониторинг за их значениями отдельные значения \tilde{Q} для статистики на стадии эксплуатации. Для этого балка предварительно разгружается, например, с помощью домкратов. Затем в данном отсеке в двух сечениях балки устанавливаются измерители деформации ε и после нагружения балки измеряются деформации ε в поясах балки.

По этим результатам измерений вычисляют изгибающие моменты по формуле $M_i = \varepsilon_i E W_i$, где E – модуль упругости стали; W – момент сопротивления балки в данном поперечном сечении. Значения моментов M_i определяют в двух сечениях (1 и 2) на расстоянии Δl с наибольшим градиентом изменения ε . Отдельные значения поперечной силы Q находят из условия $Q = |M_1 - M_2| / \Delta l$ в различные моменты времени.

По измеренным деформациям в сечениях 1 и 2 находят значения $\bar{\varepsilon}_1, \bar{\varepsilon}_2, S_1$ и S_2 . При независимости между $\bar{\varepsilon}_1, \bar{\varepsilon}_2$ по методу линеаризации по формулам находят значения:

$$m_\varepsilon = \bar{\varepsilon}_i = \sum_{j=1}^n \varepsilon_{ij} / n, \quad j = 1, \dots, n \quad \text{и} \quad S_{\varepsilon_i} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\varepsilon_{ij} - \bar{\varepsilon}_i)^2 / (n-1)},$$

где i – номера сечений балки; j – номер измерения деформации в i -ом сечении; n – число измерений деформаций ε_{ij} .

Затем вычисляют средние значения изгибающих моментов $\bar{M}_i = \bar{\varepsilon}_i E W_i$ и их средних квадратических отклонений $S_{M_i} = E W_i S_{\varepsilon_i}$. Отсюда $\bar{Q} = |\bar{M}_1 - \bar{M}_2| / \Delta l$. Принимаем Δl детерминированной величиной. $S_Q = \sqrt{(S_{M1}^2 + S_{M2}^2)} / \Delta l$ при независимости $\bar{\varepsilon}_1, \bar{\varepsilon}_2$.

Предел текучести σ_T в (2) можно определить [3] через предел прочности σ_B , а именно $\sigma_T = (0,75 \div 0,9) \sigma_B$, а предел прочности предлагается определять неразрушающими методами, например, методом царапания, в котором значение τ_{cp} находят из известного [3] соотношения $\tau_{cp} = (0,45 \div 0,54) \sigma_T$.

С учетом всего вышесказанного и с учетом изменчивости параметров в (1) и (2) математическую модель для расчета надежности по критерию прочности стенки балки в наиболее нагруженном отсеке, где действует наибольшая поперечная сила Q , можно представить в виде:

$$[\tilde{Q} - 10,3(1 + 0,76 / \mu^2) 0,5 \tilde{\sigma}_T t_w h_w / \bar{\lambda}_{ef}^2] / (2t_w 1,47 \sin^2 \varphi) + 1,7(10,3(1 + 0,76 / \mu^2) 0,5 \tilde{\sigma}_T / \bar{\lambda}_{ef}^2) \leq \tilde{\sigma}_T \gamma_c. \quad (3)$$

Упростим запись выражения (3), для чего предварительно представим (3) в виде:

$$\frac{\tilde{Q}}{2t_w 1,47 \sin^2 \varphi} - \frac{10,3(1 + 0,76 / \mu^2) 0,5 \tilde{\sigma}_T t_w h_w / \bar{\lambda}_{ef}^2}{2t_w 1,47 \sin^2 \varphi} + 1,7(10,3(1 + 0,76 / \mu^2) 0,5 \tilde{\sigma}_T / \bar{\lambda}_{ef}^2 - \tilde{\sigma}_T \gamma_c) \leq 0,$$

тогда

$$\frac{\tilde{Q}}{2t_w 1,47 \sin^2 \varphi} - \tilde{\sigma}_T \left(\frac{10,3(1 + 0,76 / \mu^2) 0,5 t_w h_w}{2t_w \bar{\lambda}_{ef}^2 1,47 \sin^2 \varphi} - \frac{1,7(10,3(1 + 0,76 / \mu^2) 0,5}{\bar{\lambda}_{ef}^2} + \gamma_c \right) \leq 0. \quad (4)$$

Выражение в скобках (4) обозначим для краткости дальнейшей записи буквой A , т.е.

$$\left(\frac{10,3(1 + 0,76 / \mu^2) 0,5 t_w h_w}{2t_w \bar{\lambda}_{ef}^2 1,47 \sin^2 \varphi} - \frac{1,7(10,3(1 + 0,76 / \mu^2) 0,5}{\bar{\lambda}_{ef}^2} + \gamma_c \right) = A. \quad (5)$$

Ввиду малой изменчивости параметров в (5) «А» примем детерминированной величиной. В этом случае правая часть (4) будет $A \cdot \tilde{\sigma}_T$, обозначим $A \cdot \tilde{\sigma}_T = \tilde{Y}$, $\frac{\tilde{Q}}{2t_w 1,47 \sin^2 \varphi} = \tilde{X}$. С учетом принятых обозначений модель предельного состояния (3) примет вид:

$$\tilde{X} - \tilde{Y} \leq 0 \text{ или } \tilde{X} \leq \tilde{Y}. \quad (6)$$

Состояние отказа стенки балки соответственно примет вид:

$$\tilde{X} - \tilde{Y} > 0 \text{ или } \tilde{X} > \tilde{Y}. \quad (7)$$

Задачу по расчету надежности балки с гибкой стенкой по математической модели (7) можно было бы решать вероятностным методом, если бы имелаась полная информация о параметрах модели.

При неполной информации о параметрах математической модели эта задача была решена в [4] возможным методом.

Однако в этом методе в формулах возможностного метода расчета надежности используется коэффициент α (уровень риска), которым приходится субъективно задаваться из интервала значений $[0,1]$, отчего появляется некоторый элемент неопределенности, зависящий от человеческого фактора, а также интервал надежности получается более «размытым» и значение менее информативным. В связи с этим в рассматриваемой методике расчета надежности предлагается увеличить объем измерений до возможности достоверного вычисления среднего арифметического и среднего квадратического отклонения контролируемых параметров и использовать новый подход к расчету надежности балки по критерию прочности стенки балки отсека, построенного на функциях распределения, полученных на основе неравенства Чебышева [5], эти функции распределения, например, случайной величины X , имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \bar{F}(x) &= \begin{cases} \frac{S_x^2}{(m_x - x)^2 + S_x^2}, & \text{если } x < m_x, \\ 1, & \text{если } x \geq m_x; \end{cases} \\ \underline{F}^*(x) &= \begin{cases} 0, & \text{если } x < m_x, \\ 1 - m_x/x, & \text{если } m_x \leq x \leq m_x + S_x^2/m_x; \end{cases} \\ \underline{F}^{**}(x) &= \frac{(m_x - x)^2}{(m_x - x)^2 + S_x^2}, & \text{если } x > m_x + S_x^2/m_x. \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

Функции распределения в графическом виде представлены на рисунке 2.

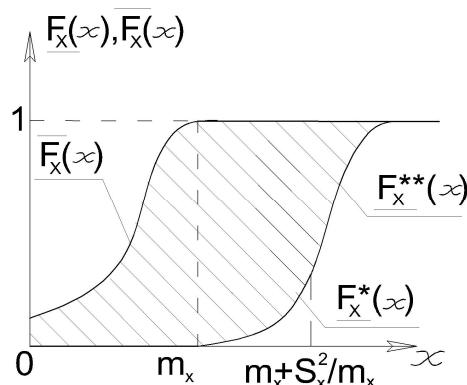


Рисунок 2 – Границы функций распределения вероятностей $\bar{F}(x)$, $\underline{F}^*(x)$, $\underline{F}^{**}(x)$, полученные на основе неравенства Чебышева

Из (8) дифференцированием по аргументу x можно найти граничные функции плотностей распределения X :

$$\left. \begin{aligned} \bar{\rho}_X(x) &= \begin{cases} \frac{2(m_X - x)S^2}{[(m_X - x)^2 + S^2]^2}, & \text{если } x < m_X, \\ 0, & \text{если } x \geq m_X; \end{cases} \\ \underline{\rho}_X^*(x) &= \begin{cases} 0, & \text{если } x < m_X, \\ m_X / x^2, & \text{если } m_X < x < (m_X + S_X^2 / m_X); \end{cases} \\ \underline{\rho}_X^{**}(x) &= \frac{-2(m_X - x)S_X^2}{[(m_X - x)^2 + S^2]^2}, & \text{если } x > (m_X + S^2 / m_X). \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

Известно, что по правилам классической теории надежности [6] определения вероятности безотказной работы при стохастически независимых случайных величинах x_i вектора переменных $X_i (X_1, X_2 \dots X_n)$ с функциями плотностей распределения $\rho_X(x_i)$ имеем $\rho_X(x_i) = \rho_{X_1}(x_1) \cdot \rho_{X_2}(x_2) \dots \rho_{X_n}(x_n)$ и надежность определяется по общей формуле:

$$P = \int \dots \int_S \prod_{i=1}^n \rho_{X_i}(x_i) dx_i, \quad (10)$$

где S – область безотказной работы; n – число параметров (случайных величин) в модели предельного состояния.

Расчетные формулы для значений нижних и верхних вероятностей безотказной работы \underline{P} и \bar{P} по (10) для рассматриваемого расчета надежности балки примут вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \underline{P} &= \int_S \int \underline{\rho}_X(x) \bar{\rho}_Y(y) dy dx, \\ \bar{P} &= \int_S \int \bar{\rho}_X(x) \underline{\rho}_Y(y) dy dx. \end{aligned} \right. \quad (11)$$

Для \underline{P} принимается верхняя функция плотности распределения $\bar{\rho}_Y(y)$, т.к. с ростом Y , как видно из условия (7), область отказа убывает и принимается нижняя функция плотности распределения $\underline{\rho}_X(x)$, т. к. с ростом X , как видно из условия (7), область отказа возрастает.

Для значения \bar{P} правило подстановки функций плотностей распределения показано в (11).

Рассмотрим один из вариантов, наиболее распространенный на практике, при котором имеет место $m_X + \frac{S_X^2}{m_X} < m_Y$.

Расчетные формулы для значений нижних и верхних вероятностей отказа с учетом (7), (9), (11) примут вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \bar{P} &= \int_{m_Y}^{(m_Y + S_Y^2 / m_Y)} \frac{m_Y}{y^2} \times \int_0^y \frac{2(m_X - x)S_x^2}{[(m_X - x)^2 + S_x^2]^2} dx dy + \\ &+ \int_{(m_Y + S_Y^2 / m_Y)}^{\infty} \frac{-2(m_Y - y)S_Y^2}{[(m_Y - y)^2 + S_Y^2]^2} \times \int_0^y \frac{2(m_X - x)S_x^2}{[(m_X - x)^2 + S_x^2]^2} dx dy, \\ \underline{P} &= \int_{m_X}^{(m_X + S_X^2 / m_X)} \frac{m_X}{x^2} \times \int_x^{\infty} \frac{2(m_Y - y)S_Y^2}{[(m_Y - y)^2 + S_Y^2]^2} dy dx + \\ &+ \int_{(m_X + S_X^2 / m_X)}^{\infty} \frac{-2(m_X - x)S_X^2}{[(m_X - x)^2 + S_X^2]^2} \times \int_x^{\infty} \frac{2(m_Y - y)S_Y^2}{[(m_Y - y)^2 + S_Y^2]^2} dy dx \end{aligned} \right. \quad (12)$$

Пример: Будем считать, что по результатам измерений найдены значения $m_X = 100$ кН, $m_Y = 120$ кН, $S_X = 1$ кН, $S_Y = 1,2$ кН. Найдем надежность балки, подставляя числовые значения в (12), получим интервал надежности $[0.99480, 0.99991]$.

Изменим (увеличим) значения средних квадратических отклонений и примем их значения соответственно $S_x = 2$ кН, $S_y = 2,5$ кН, расчетом надежности по (12) получим [0.97182, 0.99962], т.е. с ростом изменчивости параметров надежность балки понижается.

Выводы

1. Рассмотрена новая методика расчета надежности несущего элемента (балки) с использованием неравенства Чебышева.
2. Приведены расчетные формулы для определения значений вероятности безотказной работы.
3. Предложенная методика может быть использована для расчета балки по другим критериям ее работоспособности и для других несущих элементов с известными значениями m и S параметров модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уткин, В.С. Расчет надежности строительных конструкций при различных способах описания неполноты информации. Учебное пособие [Текст] / В.С. Уткин, Л.В. Уткин. – Вологда: ВоГТУ, 2009. – 126 с.
2. Бирюлев, В.В. и др. Проектирование металлических конструкций. Спец. курс [Текст] / В.В. Бирюлев, И.И. Кошин, И.И. Крылов, А.В. Сильвестров. – Ленстройиздат, 1990. – 431 с.
3. Фридман, Я.Б. Механические свойства металлов [Текст] / Я.Б. Фридман // В 2-х ч. Часть 2. Механические испытания. Конструкционная прочность. – М.: Машиностроение, 1974. – 368 с.
4. Уткин, В.С. Расчет надежности механических систем при ограниченной статистической информации. Монография [Текст] / В.С. Уткин, Л.В. Уткин. – Вологда, ВоГТУ, 2008. – 188 с.
5. Ушаков, И.А. Вероятностные модели надежности информационно-вычислительных систем [Текст] / И.А. Ушаков. – М: Радио и связь, 1991. – 132 с.
6. Шпете, Г. Надежность несущих строительных конструкций [Текст] / Г. Шпете. – М.: Стройиздат, 1994. – 288 с.

Уткин Владимир Сергеевич

Вологодский государственный технический университет, г. Вологда
Доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство»
Тел.: +7 921-126-28-92
E-mail: lexr777@yandex.ru

Редькин Александр Николаевич

Вологодский государственный технический университет, г. Вологда
Аспирант кафедры «Промышленное и гражданское строительство»
Тел.: +7 921-681-16-20, +7 906-298-83-01
E-mail: lexr777@yandex.ru

UTKIN V.S., REDKIN A.N.

CALCULATION OF RELIABILITY OF A STEEL BEAM WITH A FLEXIBLE WALL ACCORDING TO THE STRENGTH WALL CRITERION AT GOT LIMITED STATISTICAL INFORMATION WITH THE USE OF DISTRIBUTIONS RECEIVED ON THE BASIS OF CHEBYSHEV'S INEQUALITY

The mechanical safety requirements, specified in the law of the RUSSIAN federation no.384-FZ "Technical regulations on the safety of buildings and constructions" are considered. The new technique of reliability calculation of as one of the security measures of the steel beams on the strength, set up at in the distributions received on the basis the Chebyshev's inequality are shown. The new method of calculations of reliability of a bearing element is considered at the incomplete (limited) information of model parameters. Such situation often meets in practice of calculations of reliability of bearing ele-

ments of buildings and constructions at an operation stage when are known values only a mathematical expectation and a standard deviation.

Keywords: *reliability, security, limited information, inequality of Chebyshev, interval distribution strength.*

BIBLIOGRAPHY

1. Utkin, V.S. Raschet nadezhnosti stroitel'nyh konstrukcij pri razlichnyh sposobah opisaniya nepolnoty informacii. Uchebnoe posobie [Tekst] / V.S. Utkin, L.V. Utkin. – Vologda: VoGTU, 2009. – 126 s.
2. Birjulev, V.V. i dr. Proektirovanie metallicheskih konstrukcij. Spec. kurs [Tekst] / V.V. Birjulev, I.I. Koshin, I.I. Krylov, A.V. Sil'vestrov. – Lenstrojizdat, 1990. – 431 s.
3. Fridman, Ja.B. Mehanicheskie svojstva metallov [Tekst] / Ja.B. Fridman // V 2-h ch. Chast' 2. Mehanicheskie ispytaniya. Konstrukcionnaja prochnost'. – M.: Mashinostroenie, 1974. – 368 s.
4. Utkin, V.S. Raschet nadezhnosti mehanicheskih sistem pri ogranichennoj statisticheskoj informacii. Monografija [Tekst] / V.S. Utkin, L.V. Utkin. – Vologda, VoGTU, 2008. – 188 s.
5. Ushakov, I.A. Veroyatnostnye modeli nadezhnosti informacionno-vychislitel'nyh sistem [Tekst] / I.A. Ushakov. – M: Radio i svjaz', 1991. – 132 s.
6. Shpete, G. Nadezhnost' nesuvyaznyh stroitel'nyh konstrukcij [Tekst] / G. Shpete. – M.: Strojizdat, 1994. – 288 s.

Utkin Vladimir Sergeevich

Vologda state technical university, Vologda

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

Ph.: +7 921 126-28-92

E-mail: lexr777@yandex.ru

Redkin Alexander Nikolaevich

Vologda state technical university, Vologda

Post-graduate student of the department «Industrial and civil construction»

Ph.: +7 921-681-16-20, +7 906-298-83-01

E-mail: lexr777@yandex.ru

ФЕДОСОВ С.В., РУМЯНЦЕВА В.Е., ХРУНОВ В.А.,
ШЕСТЕРКИН М.Е.

ВОПРОСЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье представлена математическая модель массопереноса при жидкостной коррозии бетона первого вида применительно к системе «бетонный резервуар – жидкость», решение системы уравнений методом интегральных преобразований Лапласа рассчитаны основные характеристики массопереноса – коэффициенты массопереноса и массоотдачи, изложены математические выражения, определяющие зависимости изменения коэффициентов массопереноса во времени. Некоторые результаты расчетов по полученным выражениям для области больших значений числа Фурье представлены в графическом виде – изменение средней концентрации по толщине конструкции и концентрация переносимого компонента в жидкой фазе дают возможность прогнозировать динамику и кинетику исследуемых процессов коррозионной деструкции.

Ключевые слова: коррозия, бетон, диффузия, капиллярный перенос, массоперенос, коэффициенты массопереноса и массоотдачи, плотность потока массы, долговечность, математическое моделирование.

Прогнозирование долговечности железобетонных конструкций в настоящее время приобретает все большую актуальность [1, 2]. В связи с этим на современном этапе развития строительной индустрии одной из приоритетных задач является разработка на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований эффективных рекомендаций для предотвращения разрушения конструкций от коррозии.

Коррозионные процессы всегда усиливаются, если в конструкции возникают трещины – усадочные, температурные, от механических нагрузок, а также когда в бетоне имеются крупные «открытые» поры и каверны. Тогда ускоряется диффузия агрессивных веществ в бетон и усиливается массообмен между бетоном и средой. Процессы частого попеременного намокания и высыхания, а также циклического замораживания и оттаивания, если они происходят при наличии в бетоне агрессивных для него веществ, обычно ускоряют проникновение в глубь бетона вредных для него веществ и усиливают коррозионное разрушение. Таким образом, борьба с пагубными для бетона химическими воздействиями связана как с соблюдением технологических правил по изготовлению бетона, так и с особенностями состояния его в конструкциях [3].

В зданиях и сооружениях бетоны могут подвергаться отрицательному воздействию, в первую очередь, воды и водных растворов различных веществ, в том числе и газов, вызывающих химическую коррозию; различных неорганических и органических веществ в жидком и газообразном состоянии (химическая коррозия); многократно повторяющихся процессов увлажнения и высыхания, а также замерзания и оттаивания, часто в водонасыщенном состоянии (физическая коррозия); различных веществ, отлагающихся в порах и капиллярах цементного камня и бетона в результате капиллярного подсоса минерализованных вод и их испарения; кристаллизуясь, они могут вызывать вредные напряжения (физическая коррозия).

Все среды по степени воздействия на строительные конструкции (в том числе на бетонные и железобетонные) делятся на неагрессивные (Н), слабоагрессивные (Сл), среднеагрессивные (Ср) и сильноагрессивные (Сн). В основу данной классификации положены: относительное снижение прочности материала в зоне коррозии и внешние проявления признаков коррозии в результате эксплуатации конструкций в течение одного года. Степень агрессивности среды определяют по допустимой глубине разрушения бетона за 50-летний срок эксплуатации конструкции [4, 5] (табл. 1).

Таблица 1 – Допустимая глубина (см) разрушения бетона за 50 лет эксплуатации

Степень агрессивности воды-среды	Конструкции	
	железобетонные	бетонные
Неагрессивная	1	2
Слабоагрессивная	1-2	2-4
Среднеагрессивная	2-4	4-6
Сильноагрессивная	Более 4	Более 6

Для развития процессов коррозии необходимо постоянное воздействие агрессивной среды на компоненты бетона, в том числе на внутренние слои, когда граница коррозии перемещается вглубь материала [6].

Массоперенос веществ в теле бетона осуществляется путем фильтрации при наличии градиента давления, капиллярного переноса и диффузии при наличии разности концентраций [4, 7, 8].

В работе [8] очерчен круг проблем, связанных с разработкой математических моделей, базирующихся на фундаментальных основах теории тепломассопереноса [9].

В настоящей статье излагаются результаты разработки математической модели процесса коррозии бетона первого вида применительно к системе «бетонный резервуар – жидкость».

Как известно [6, 8, 10], при изготовлении бетонных (и железобетонных) изделий и конструкций в материале образуется 10-15% «свободного гидроксида кальция» (по терминологии академика РААСН С.В. Федосова) (в пересчете на CaO), который и является причиной коррозии первого и второго видов [6].

На рисунке 1 показана иллюстрация физической модели процесса массопереноса «свободного гидроксида кальция» из стенки резервуара в жидкость, обусловленная диффузией («выщелачиванием») переносимого компонента из твердой фазы в жидкую. После завершения монтажа резервуара, пуска в эксплуатацию и заполнения жидкостью начинается взаимодействие фаз, характеризуемое началом диффузии $\text{Ca}(\text{OH})_2$ по толщине конструкции в направлении координаты x к границе раздела фаз δ , переходом через эту границу и распределением в объеме жидкости. При этом поток переносимого компонента будет определяться вектором $\vec{j}_m(\tau)$.

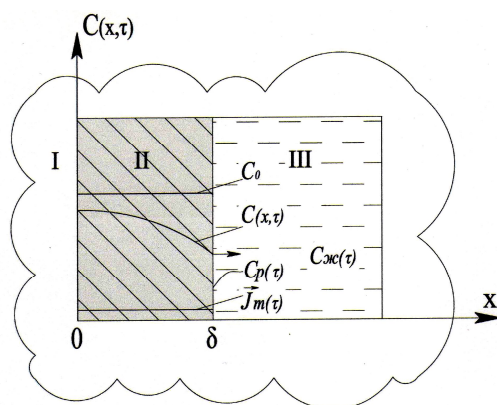


Рисунок 1 – К физической модели массопереноса: I – внешняя среда; II – бетон; III – жидкость

К произвольному моменту времени τ концентрация компонента в бетоне понизится от C_0 до меньшего значения, определяемого как:

$$C_{cp.}(\tau) = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} C(x, \tau) dx, \quad (1)$$

где $C(x, \tau)$ – распределение концентрации компонента по толщине бетона в момент времени τ , кг СаО/кг бетона.

Этому моменту времени будет соответствовать значение концентрации компонента в жидкости $C_{жс}(\tau)$, кг СаО/кг жидкости.

Математически задача массопереноса запишется в следующем виде:

$$\frac{\partial C(x, \tau)}{\partial \tau} = k \cdot \frac{\partial^2 C(x, \tau)}{\partial x^2}, \delta > 0, 0 \leq x \leq \delta. \quad (2)$$

$$\text{Начальное условие: } C(x, \tau) \Big|_{\tau=0} = C(x, 0) = C_0. \quad (3)$$

Граничные условия:

$$\frac{\partial C(0, \tau)}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

$$k \cdot \frac{\partial C(\delta, \tau)}{\partial x} = \beta [C_p(\tau) - C(\delta, \tau)]. \quad (5)$$

В этих выражениях: k – коэффициент массопроводности (диффузии) $\text{м}^2/\text{с}$; β – коэффициент массоотдачи, $\text{м}/\text{с}$.

Отличительной особенностью математической модели (2)-(5) от классической теории массопереноса [11] является непостоянство величины равновесной концентрации на поверхности твердого тела C_p , а ее зависимость от концентрации компонента в жидкой фазе:

$$C_p(\tau) = f[C_{жс}(\tau)]. \quad (6)$$

Простейшей формой этой зависимости является закон Генри:

$$C_p(\tau) = m C_{жс}(\tau), \quad (7)$$

где m – константа Генри, кг жидкости/кг бетона.

Баланс массы вещества при переходе из твердой фазы в жидкую определяется выражением:

$$-S \cdot \rho_b \cdot k \cdot \frac{\partial C(\delta, \tau)}{\partial x} = V_{жс} \cdot \rho_{жс} \cdot \frac{\partial C_{жс}(\tau)}{\partial \tau}. \quad (8)$$

Здесь левая часть – это количество переносимого компонента через поверхность резервуара S , м^2 ; правая часть – приращение массы компонента в объеме $V_{жс}$ резервуара, м^3 ; $\rho_b, \rho_{жс}$ – плотности бетона и жидкости соответственно, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Знак «минус» указывает на уменьшение концентрации компонента в бетоне.

Для получения обобщенных решений, удобных для качественного анализа процессов коррозии, введем безразмерные переменные вида:

$$Z(\bar{x}, Fo_m) = \frac{C_0 - C(x, \tau)}{C_0}, \bar{x} = \frac{x}{\delta}, Fo_m = \frac{k\tau}{\delta^2}. \quad (9)$$

С учетом этих переменных краевая задача (2)-(5) преобразуется к виду:

$$\frac{\partial Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial Fo_m} = \frac{\partial^2 Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}^2}, Fo_m > 0, 0 \leq \bar{x} \leq 1, \quad (10)$$

$$Z(\bar{x}, 0) = 0; \quad (11)$$

$$\frac{\partial Z(0, Fo_m)}{\partial \bar{x}} = 0; \quad (12)$$

$$\frac{1}{Bi_m} \cdot \frac{\partial Z(1, Fo_m)}{\partial \bar{x}} = [Z_p(Fo_m) - Z(1, Fo_m)]. \quad (13)$$

Здесь $Bi_m = \beta \cdot \delta / k$ – массообменный критерий Био.

В принятых переменных уравнение (8) запишется так:

$$-\frac{\partial Z_{жс}(Fo_m)}{\partial Fo_m} = K_m \cdot \frac{\partial Z(1, Fo_m)}{\partial \bar{x}}. \quad (14)$$

В последнем выражении обозначено:

$$Z_{ж}(Fo_m) = \frac{C_0 - m \cdot C_{ж}(\tau)}{C_0}, \quad (15)$$

$$K_m = \frac{m \cdot S \cdot \delta}{V_{ж}} \cdot \frac{\rho_{б}}{\rho_{ж}} = \frac{m \cdot G_{бет}}{G_{ж}}, \quad (16)$$

где $G_{бет}$ – масса бетонного резервуара, кг; $G_{ж}$ – масса жидкости в резервуаре, кг.

Решение системы уравнений (9)-(13), полученное методом интегральных преобразований Лапласа, запишется в следующих выражениях:

- Профиль безразмерных концентраций переносимого компонента по толщине бетона в произвольный момент времени:

$$Z(\bar{x}, Fo_m) = \frac{C_0 - C(x, \tau)}{C_0} = \frac{Bi_m}{1 + K_m} - 2 \cdot Bi_m \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n \cdot \bar{x}) \cdot \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo_m)}{\mu_n \cdot [1 - K_m + Bi_m] \cdot \sin \mu_n + [\mu_n^2 - K_m] \cdot \cos \mu_n}. \quad (17)$$

- Средняя по толщине конструкции концентрация переносимого компонента в момент времени τ , определяемый значением критерия Fo_m :

$$Z_{cp}(Fo_m) = \frac{Bi_m}{1 + K_m} - 2 \cdot Bi_m \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_n \cdot \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo_m)}{\mu_n \cdot [\mu_n \cdot (1 + Bi_m - K_m) \cdot \sin \mu_n + (\mu_n^2 - K_m) \cdot \cos \mu_n]}. \quad (18)$$

- Концентрация переносимого компонента в жидкой фазе:

$$Z_{ж}(Fo_m) = \frac{C_0 - m \cdot C_{ж}(\tau)}{C_0} = 1 + 2 \cdot Bi_m \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_n \cdot [1 - \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo_m)]}{\mu_n \cdot [\mu_n \cdot (1 + Bi_m - K_m) \cdot \sin \mu_n + (\mu_n^2 - K_m) \cdot \cos \mu_n]}. \quad (19)$$

В полученных выражениях μ_n – корни характеристического уравнения:

$$\operatorname{ctg} \mu_n = \frac{\mu_n^2 - K_m}{\mu_n \cdot Bi_m}. \quad (20)$$

Некоторые результаты расчетов по выражениям (18) и (19) приведены на рисунках 2 и 3. Отметим интересный факт, иллюстрируемый кривыми рисунка 2: во времени процесса (с ростом значения числа Фурье) кривые приобретают все более «гладкий» характер. Это свидетельствует о том, что уменьшение значения коэффициента массопереноса происходит с меньшей интенсивностью, чем уменьшение значения коэффициента массоотдачи, а, значит, и плотности потока массы.

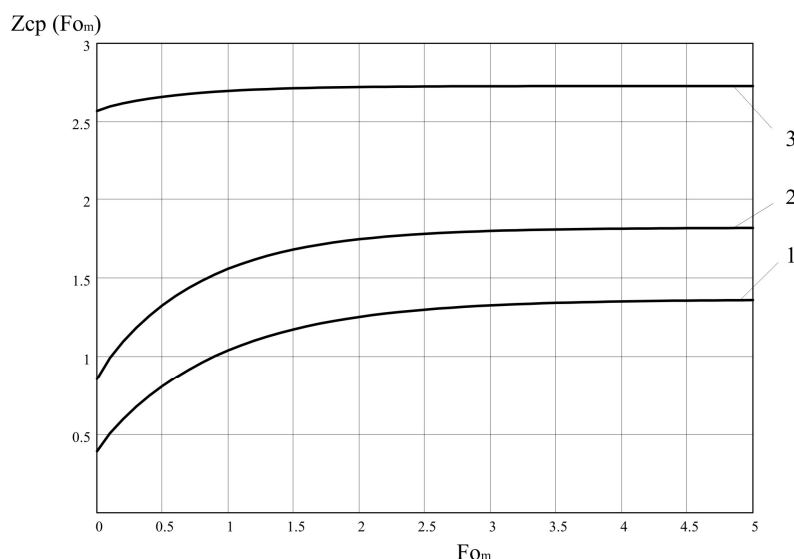


Рисунок 2 – Изменение средней концентрации по толщине конструкции Fo_m от 0 до 10; $K_m = 0,1$; $Bi_m = 0,5; 1; 1,5; 2; 3$

Кривые рисунка 3 соответствуют физическим особенностям процесса: падает во времени плотность потока – падает и интенсивность нарастания концентраций в жидкой фазе.

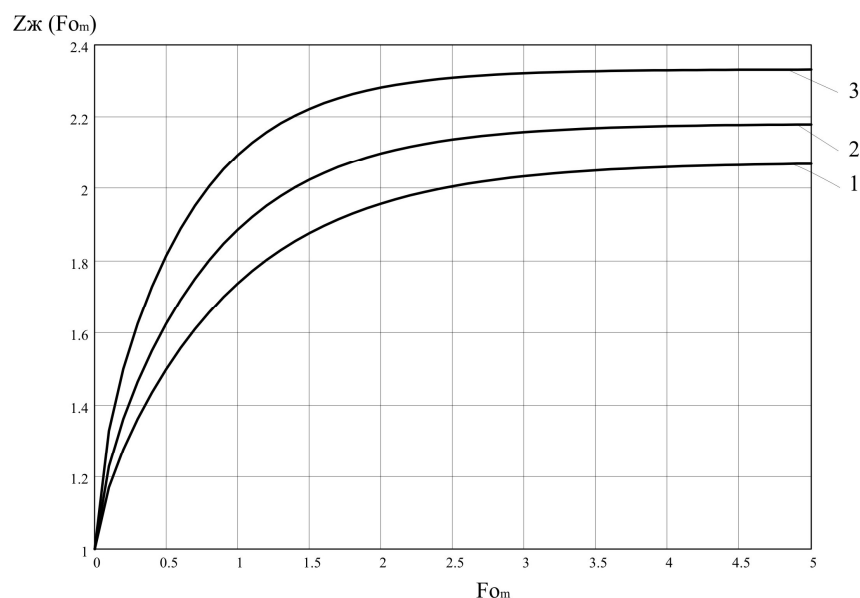


Рисунок 3 – Концентрация переносимого компонента в жидкой фазе
 Fo_m от 0 до 10; $K_m=0,1$; $Bi_m=0,5; 1; 1,5; 2; 3$

Приведенная в данной статье математическая модель коррозии бетона I вида и изложенные результаты расчетов безразмерных характеристик процесса открывают перспективы дальнейших исследований, позволяют определить коэффициенты переноса, предложить методику организации и выполнения эксперимента.

Все это повышает надежность выполнения расчетов и дает возможность прогнозировать динамику и кинетику исследуемых процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федосов, С.В. Моделирование массопереноса в процессах жидкостной коррозии бетона I вида [Текст] / С.В. Федосов, В.Е. Румянцев, Н.Л. Федосова, В.Л. Смельцов // Строительные материалы. – №7. – 2005. – С. 60-62.
2. Федосов, С.В. Моделирование массопереноса в процессах коррозии бетона первого вида (малые значения числа Фурье) [Текст] / С.В. Федосов, В.Е. Румянцев, В.А. Хрунов, Л.Н. Аксаковская // Строительные материалы. – №5. – 2007. – С. 68-69.
3. Миронов, С.А. Развитие методов тепловой обработки бетона в промышленности сборного железобетона. В кн.: Тепловая обработка бетона. Материалы семинара [Текст] / С.А. Миронов. – М.: Стройиздат. – 1967. – 143 с.
4. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты [Текст] / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузев // Под общ. ред. В.М. Москвина. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
5. Шалимо, М.А. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии [Текст] / М.А. Шалимо. – Минск: Высшая школа, 1986. – 200 с.
6. Баженов, Ю.М. Технология бетона [Текст] / Ю.М. Баженов. – М.: АСВ, 2002. – 500 с.
7. Розенталь, Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости [Текст] / Н.К. Розенталь. – М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Центр проектной продукции в строительстве» (ФГУП ЦПП), 2006. – 520 с.
8. Федосов, С.В. О некоторых проблемах теории и математического моделирования процессов коррозии бетона [Текст] / С.В. Федосов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. – №5. – С. 20-21.
9. Лыков, А.В. Теория тепло- и массопереноса [Текст] / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 592 с.
10. Федосов С.В. Сульфатная коррозия бетона [Текст] / С.В. Федосов, С.М. Базанов. – М.: АСВ, 2003. – 192 с.
11. Романков, П.Г. Массообменные процессы химической технологии [Текст] / П.Г. Романков, Н.Б. Рашковская, В.Ф. Фролов. – Л.: Химия, 1974. – 336 с.

Федосов Сергей Викторович

ГОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
 Академик РААСН, доктор технических наук, профессор, ректор.
 Тел.: +7 (4932) 32-85-40
 E-mail: rektor@igasu.ru

Румянцева Варвара Евгеньевна

ГОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Химия и охрана окружающей среды»
Тел.: +7 (4932) 37-34-36
E-mail: varrym@gmail.com

Хрунов Владимир Андреевич

ГОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Химия и охрана окружающей среды»
Тел.: +7 (4932) 37-34-36
E-mail: sprinter054@yandex.ru

Шестеркин Максим Евгеньевич

ГОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Аспирант кафедры «Химия и охрана окружающей среды»
Тел.: +7 (4932) 37-34-36
E-mail: shesterkin86@mail.ru

FEDOSOV S.V., RUMYANTSEVA V.Ye., KRUNOV V.A.,
SHESTERKIN M.E.

QUESTIONS FORECASTING BUILDING CONTRACTION

The article present a mathematical model of mass transfer in liquid of corrosion concrete of the first kind with respect to the "concrete tank- liquid" system, solution of equations by the method of integral Laplace transform; the main characteristics of mass transfer- mass transfer are calculated and namely and mass output coefficients; mathematical expressions for the dependence of the time change in mass transfer coefficients are presents. Some results of calculations with these obtained expressions for large values of the Fourier number are presented in graphical form- change of average concentration over the thickness of the construction and transferred component in the liquid phase make it possible to predict the dynamics and kinetics of the investigated processes corrosion degradation.

Keywords: corrosion, aggressive environment, mass transfer processes, coefficients of mass conductivity and mass return, mathematical model.

BIBLIOGRAPHY

1. Fedosov, S.V. Modelirovanie massoperenosa v processah zhidkostnoj korrozii betona 1 vida [Tekst] / S.V. Fedosov, V.E. Rumjanceva, N.L. Fedosova, V.L. Smel'cov // Stroitel'nye materialy. – №7. – 2005. – S. 60-62.
2. Fedosov, S.V. Modelirovanie massoperenosa v processah korrozii betona pervogo vida (malye znachenija chisla Fur'e) [Tekst] / S.V. Fedosov, V.E. Rumjanceva, V.A. Hrunov, L.N. Aksakovskaja // Stroitel'nye materialy. – №5. – 2007. – S. 68-69.
3. Mironov, S.A. Razvitie metodov teplovoj obrabotki betona v promyshlennosti sbornogo zhelezobetona. V kn.: Teplovaja obrabotka betona. Materialy seminarov [Tekst] / S.A. Mironov. – M.: Strojizdat. – 1967. – 143 s.
4. Moskvina, V.M. Korrozija betona i zhelezobetona, metody ih zavity [Tekst] / V.M. Moskvina, F.M. Ivanov, S.N. Alekseev, E.A. Guzev // Pod obw. red. V.M. Moskvina. – M.: Strojizdat, 1980. – 536 s.
5. Shalimo, M.A. Zawita betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij ot korrozii [Tekst] / M.A. Shalimo. – Minsk: Vysshaja shkola, 1986. – 200 s.
6. Bazhenov, Ju.M. Tehnologija betona [Tekst] / Ju.M. Bazhenov. – M.: ASV, 2002. – 500 s.
7. Rozental', N.K. Korroziionnaja stojkost' cementnyh betonov nizkoj i osobo nizkoj pronicaemosti [Tekst] / N.K. Rozental'. – M.: Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe predpriatie «Centr proektnoj produkcii v stroitel'stve» (FGUP CPP), 2006. – 520 s.
8. Fedosov, S.V. O nekotoryh problemah teorii i matematicheskogo modelirovanija processov korrozii betona [Tekst] / S.V. Fedosov // Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka. 2005. – №5. – S. 20-21.
9. Lykov, A.V. Teorija teplo- i massoperenosa [Tekst] / A.V. Lykov, Ju.A. Mihajlov. – M.-L.: Gosjenergoizdat, 1963. – 592 s.

10. Fedosov S.V. Sul'fatnaja korrozija betona [Tekst] / S.V. Fedosov, S.M. Bazanov. – M.: ASV, 2003. – 192 s.

11. Romankov, P.G. Massoobmennye processy himicheskoj tehnologii [Tekst] / P.G. Romankov, N.B. Rashkovskaja, V.F. Frolov. – L.: Himija, 1974. – 336 s.

Fedosov Sergey Viktorovich

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo

Academician RAABS, doctor of technical science, professor, rector.

Ph.: +7 (4932) 32-85-40

E-mail: rektor@igasu.ru

Rumyantseva Varvara Yevgenevna

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo

Candidate of technical sciences, senior lecturer of department «Chemistry and preservation of the environment»

Ph.: +7 (4932) 37-34-36

E-mail: varrym@gmail.com

Krunov Vladimir Andreevich

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo

Candidate of technical sciences, senior teacher of department «Chemistry and preservation of the environment»

Ph.: +7 (4932) 37-34-36

E-mail: sprinter054@yandex.ru

Shesterkin Maxim Evgenevich

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo

The post-graduate student of department «Chemistry and preservation of the environment»

Ph.: +7 (4932) 37-34-36

E-mail: shesterkin86@mail.ru

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ПРАКТИКЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Рассматриваются проблемы экологического состояния придорожной полосы автомагистралей. Производится краткий анализ существующих методик оценки проектных решений в практике проектирования автомобильных дорог. Представлены некоторые материалы расчетов и графические зависимости загрязнения атмосферного воздуха придорожной территории в зависимости от геометрических параметров магистралей. Анализируются геометрические показатели автомобильных дорог, оказывающие основное негативное влияние на загрязнение окружающей среды в придорожной полосе. Даются рекомендации по внесению поправок в существующие методики расчета, а также к нормативам на проектирование автомобильных дорог общего пользования и автомагистралей.

Ключевые слова: *загрязнение придорожной полосы, скорость движения, режим движения, радиусы закругления, продольные уклоны.*

В практике транспортного строительства, в том числе в условиях городской застройки, наиболее актуальными вопросами при проектировании являются вопросы учета возможного загрязнения воздуха отработавшими газами транспортных средств, пылью, а также акустическое загрязнение придорожных территорий уже на стадии принятия проектных решений. Аэрозоли, выхлопные газы, пыль и сажа, которые выбрасываются в атмосферу, ухудшают экологическую обстановку в населенных пунктах вблизи автомагистралей, отрицательно воздействуют на здоровье людей, животных и растительность.

Проработку вопросов охраны окружающей среды следует производить на всех стадиях составления проектной документации на развитие сети автомобильных дорог и сооружений на них.

Основное правило экологического проектирования заключается в том, что технические решения, реализуемые при проектировании транспортных сооружений, должны предусматривать в качестве основного экологического критерия минимизацию уровня энергопотребления: минимальную мощность двигателей, минимальный расход топлива, минимально возможную интенсивность движения при оптимальном его составе, оптимальные по расходу топлива скорости движения транспортных средств, а также дорожные условия – продольные уклоны, радиусы поворота, расстояние видимости, ровность т.д.

Методика оценки проектных решений и эффективности намеченных мероприятий по улучшению геометрических элементов дороги базируется на скорости, как основном технико-экономическом показателе. Автором в течение нескольких лет были обследованы автомагистрали и прилегающие к ним территории в Брянской области, и выявлена зависимость скорости движения автотранспорта от направления движения (подъем или спуск). Установлено, что при движении на подъем скорости ниже, чем при движении на спуск при тех же геометрических параметрах дороги. Причем наибольшая разница скоростей движения наблюдается при небольших уклонах. Основываясь на полученных зависимостях, отражающих реальные скоростные режимы, были произведены натурные измерения уровней загрязнения на характерных участках дороги Брянск – Новозыбков и произведено сравнение полученных значений с результатами аналитических расчетов по существующей методике с учетом неискаженных скоростей, соответствующих реальным условиям движения.

Дорога относится ко II технической категории. Данный участок был выбран по условиям предварительных обследований дорог Федерального значения Брянской области, как наиболее удовлетворяющий цели и задачам исследований. План трассы имеет ряд закруглений малого радиуса, а также участки, запроектированные с предельными продольными уклонами, а в некоторых местах даже с превышением предельных уклонов. Кроме того, некоторые кривые в плане совмещаются с участками крутых подъемов и спусков. Измерения скоростей движения транспортных потоков на автомобильной дороге Брянск-Новозыбков проводились в летний период на чистом шероховатом, а весной и осенью на мокром, загрязненном покрытии. Дорога разбивалась на участки, соответствующие определенным условиям движения (подъемы, спуски и закругления в плане) и на каждом из участков производились замеры.

На основании проведенных измерений с использованием существующих зависимостей произведен расчет возможного загрязнения окружающей среды при известной интенсивности движения на обследуемой дороге.

Используемая на сегодняшний день методика подразумевает наличие прямой зависимости загрязнения от скорости движения. С уменьшением скорости увеличивается количество выбросов. На самом деле, при одной и той же скорости движения, но на разных режимах, может выбрасываться различное количество вредных веществ. Поэтому в общем виде существующая методика дает достаточно адекватные результаты только на участках, где отсутствуют сложные условия, и автомобиль движется в установившемся режиме.

В ходе экспериментальных исследований, проведенных на дорогах Брянской области, установлено, что радиусы более 1000 м и уклоны до 10% не оказывают существенного влияния на увеличение выбросов вредных веществ. С увеличением продольных уклонов и уменьшением радиусов закруглений происходит достаточно резкий скачок выбросов, особенно при радиусах менее 500 м и уклоне 40% и более. Наиболее интенсивно возрастает количество выбросов при увеличении скоростей движения на кривых с радиусами 100 м и менее. На уклонах более 40% суммарное количество выбросов резко увеличивается при скоростях движения потока более 60 км/ч. Полученные зависимости представлены на рисунках 1 и 2.

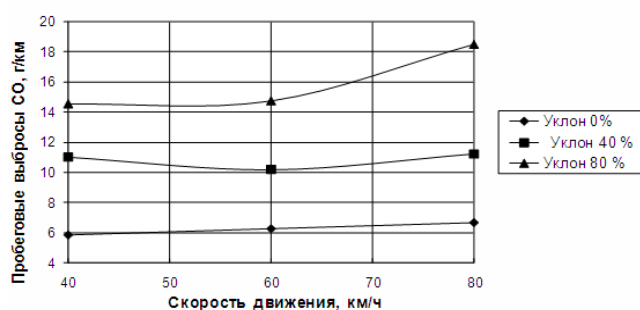


Рисунок 1 – Зависимость выбросов окиси углерода грузовым автомобилем массой до 3,5 – 12 т с дизельным двигателем от величины продольного уклона

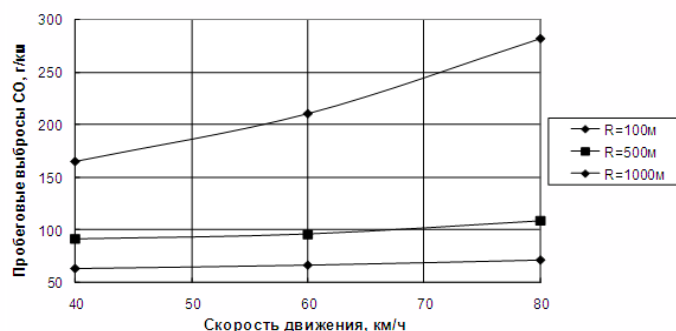


Рисунок 2 – Зависимость выбросов окиси углерода грузовым автомобилем массой до 3,5 – 12 т с карбюраторным двигателем от величины радиуса закругления в плане

При этом продольные уклоны оказывают гораздо большее влияние на количество выбросов, чем величина закругления в плане. Для автотранспортных средств с карбюраторными двигателями основной максимальный выброс идет по окиси углерода, дизельные двигатели выделяют больше всего окислов азота (до 39%). Остальные загрязнители выделяются в гораздо меньших объемах.

По результатам расчетов были получены функциональные зависимости количества выбросов вредных веществ в окружающую среду в зависимости от радиусов кривых в плане и продольных уклонов в профиле. Аппроксимирующие полиномы рекомендуется применять для определения загрязнения окружающей среды аналитическим путем по скорости движения, являющейся основной характеристикой режимов движения автомобилей.

Кроме вышеизложенного следует учитывать, что уровень выбросов зависит и от природно-климатических факторов, технического состояния агрегатов (отклонение регулировочных параметров от допустимых в результате износа и неисправности систем) и других показателей.

На основании произведенных исследований стало очевидным, что существующая методика для определения загрязнения воздушной среды дает не совсем верные результаты. Поэтому при проектировании автомобильных дорог следует стремиться к минимизации негативного воздействия дороги на экологию прилегающих территорий посредством смягчения воздействия проектных решений на элементы среды по следующим показателям: загрязнение атмосферного воздуха и почвы вредными веществами отработавших газов двигателей; загрязнение придорожных территорий пылью и продуктами износа дорожных покрытий, акустическое загрязнение. Этого можно добиться путем изменения нормируемых значений максимальных продольных уклонов и минимальных радиусов закругления в плане в сторону их смягчения, что обеспечит движение автомобилей без изменения скоростного режима и, как следствие, с минимальными выбросами вредных веществ в окружающую среду и меньшим уровнем шума двигателей автомобилей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луканин, В.Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда: Учеб. пособие для вузов [Текст] / В.Н. Луканин, А.П. Буслаев, М.В. Яшина / Под ред. В.Н. Луканина. – М.: ИНФРА – 2001. – 646 с.

Гайлитис Дина Иваровна

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск

Доцент кафедры «Автомобильные дороги»

E-mail: ldina5070@mail.ru

GAJLITIS D.I.

TO A QUESTION OF MAINTENANCE OF ECOLOGICAL SAFETY OF ENVIRONMENT IN PRACTICE OF DESIGNING OF OBJECTS OF TRANSPORT BUILDING

The problems of the ecological status of a roadside strip auto-roads. Made a brief analysis of existing methods of evaluation of the design solutions in the practice of designing of motor roads. There are some materials calculations and graphic dependences of pollution of atmospheric air with the-road territory, depending on the geometric parameters of the highways. The geometrical parameters of roads that main negative influence on the pollution of the environment in the wayside. Recommendations on amendments to the existing method of calculation, as well as to the regulations on the design of roads and highways.

Keywords: *pollution of a roadside strip, speed of movement, a movement mode, curve radiuses, longitudinal biases.*

BIBLIOGRAPHY

1. Lukanin, V.N. Avtotransportnye potoki i okruzhajuwaja sreda: Ucheb. posobie dlja vuzov [Tekst] / V.N. Lukanin, A.P. Buslaev, M.V. Jashina / Pod red. V.N. Lukanina. – M.: INFRA – 2001. – 646 s.

Gajlitis Dina Ivarovna

Bryansk state engineering-technological academy, Bryansk

Senior lecturer of department «Highways»

E-mail: ldina5070@mail.ru

УДК 711

СЕМЕНОВА С.А., ШРЕЙБЕР А.А.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ С УЧЕТОМ ПОТРЕБНОСТЕЙ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ И ИНВАЛИДОВ

В статье приводятся результаты исследования по вопросам формирования «безбарьерной» городской среды, адаптированной к потребностям маломобильных групп населения и инвалидов.

Авторами разработана методика комплексной оценки городской среды на предмет ее соответствия потребностям маломобильных групп населения и инвалидов.

На основе исследований авторами предложены и обоснованы критерии для комплексной оценки городской среды с учетом потребностей маломобильных групп населения и инвалидов, прежде всего, по достигаемости (доступности) мест целевого посещения и беспрепятственности перемещения внутри зданий и сооружений, на придомовых и городских территориях, в жилых зданиях, в общественных и административных – критерий доступности городской среды для маломобильных групп населения; инвалидов-колясочников и инвалидов с нарушениями опорно-двигательного аппарата; критерий доступности городской среды для инвалидов по зрению и инвалидов с нарушениями слуха; критерий безопасности и комфортабельности городской среды для маломобильных групп населения и инвалидов. Для каждого критерия сформирована система показателей оценки. Методика прошла апробирование на объектах города Москвы.

Ключевые слова: город, «безбарьерная» городская среда, комплексная оценка городской среды с учетом потребностей маломобильных групп населения и инвалидов.

В настоящее время в Российской Федерации по различным статистическим данным проживает от 12 до 18 миллионов людей, официально являющихся инвалидами. В сентябре 2009 года Россия присоединилась к международной Конвенции по правам инвалидов, которая предусматривает создание полноценной, как принято говорить, «безбарьерной» среды для инвалидов, обеспечивает их права на работу, медицинское обслуживание, образование, на полноценное участие в общественной жизни. Поскольку Конвенция разрабатывалась в Организации Объединенных Наций при непосредственном участии отечественных экспертов, значительная часть ее базовых положений уже отражена в российском законодательстве.

В России активно осуществляется преодоление негативных последствий проводившейся до недавних пор политики в отношении к инвалидам, которая предполагала практически полную сегрегацию таких людей от остального общества. В ряде субъектов Российской Федерации (в числе которых Москва, Московская, Волгоградская и Пермская области, Краснодарский, Ставропольский и Приморский края и др.) уже приняты законы, направленные на создание равных возможностей реализации конституционных прав не только для инвалидов, но и для других людей с ограниченными способностями или возможностями самостоятельно передвигаться, общаться, ориентироваться.

Согласно требованиям статьи 7 Конституции Российской Федерации, политика социального государства должна быть направлена на создание условий, обеспечивающих достойную жизнь и свободное развитие человека. Статья 7 Градостроительного кодекса Российской Федерации определяет, что каждый гражданин, а не только инвалид, имеет право на благоприятную среду жизнедеятельности. Поэтому повсеместное создание «безбарьерной» среды – одно из важнейших условий обеспечения возможности для этих категорий населения принимать полноценное участие в жизни общества и гуманизации среды жизнедеятельности.

Под «безбарьерной» (в этом аспекте) средой понимается такая организация окружающего пространства, при которой любой человек независимо от своего состояния, физических возможностей и других ограничений имеет возможность беспрепятственного доступа к лю-

бым объектам социальной, общественной, транспортной и иной городской инфраструктуры, а также может свободно передвигаться по любому выбранному маршруту. При этом, помимо *инвалидов*, т.е. лиц, которые имеют нарушения здоровья со стойким расстройством функций организма, обусловленные заболеваниями, последствиями травм или дефектами, приводящие к ограничению жизнедеятельности и вызывающие необходимость его социальной защиты (инвалиды в креслах-колясках, инвалиды с нарушениями опорно-двигательного аппарата, инвалиды по зрению и инвалиды с нарушениями слуха), имеет место и другая категория населения, также нуждающаяся в «безбарьерной» среде. Это лица с ограниченными возможностями, испытывающие затруднения при самостоятельном передвижении и ориентировании в пространстве (лица пожилого возраста, беременные женщины, лица с малолетними детьми и другие лица, вынужденные в силу устойчивого или временного физического недостатка использовать для своего передвижения вспомогательные средства приспособления) – *маломобильная группа населения (МГН)*.

И если доля инвалидов в современном обществе составляет порядка 10%, то совместно с МГН этот показатель по разным статистическим данным составляет 25-30% (в зависимости от демографической структуры населения).

Поэтому жилище, а также социальная, транспортная и инженерная инфраструктуры города, т.е. комплекс сооружений и коммуникаций объектов социального и культурно-бытового назначения, транспорта, связи, а также инженерного оборудования, обеспечивающий устойчивое развитие и функционирование объектов районов, городов, поселений, зон отдыха, а также средства визуальной и звуковой информации должны быть приспособлены для использования и понимания абсолютно всеми категориями населения.

Во многих развитых государствах инвалиды и МГН беспрепятственно передвигаются по улицам, ездят на городском транспорте (который оснащен подъемниками), на метро (на каждой станции есть лифты), посещают музеи, кафе и магазины. Дорожки для въезда инвалидов и МГН существуют в любом супермаркете. А если магазин многоэтажный, то для посетителей с ограниченными возможностями устанавливаются специальные подъемники или лифты. Достаточно сказать, что в Вене, где проживает 600 тыс. человек, установлено 2 тыс. подъемников.

Принципиально иная ситуация в России, где городская среда не в полной мере приспособлена для инвалидов и МГН. Например, российский инвалид-колясочник без посторонней помощи не может даже выйти из собственного дома, преодолеть необорудованный подъемником лестничный пролет, перейти через дорогу или посетить парикмахерскую, банк, почту или магазин. Повсеместно на его пути будут встречаться непреодолимые барьеры.

Одной из основных причин медленного решения проблем маломобильных групп населения и инвалидов в нашей стране является отсутствие научно обоснованных рекомендаций по формированию городской среды с учетом потребностей людей с ограниченными возможностями.

Авторами разработана методика комплексной оценки городской среды на предмет ее соответствия потребностям маломобильных групп населения и инвалидов. В процессе работы:

- проведена классификация маломобильных групп населения и инвалидов, определены основные требования, предъявляемые каждой из групп к городской среде и ее элементам;
- проанализирована нормативная база, регламентирующая требования к созданию «безбарьерной» городской среды;
- рассмотрены технические и технологические решения, применяемые в отечественной и в зарубежной практике для различных элементов городской среды при ее формировании с учетом потребностей маломобильных групп населения и инвалидов;
- предложены и обоснованы критерии для комплексной оценки городской среды с учетом потребностей маломобильных групп населения и инвалидов, сформирована система показателей оценки, соответствующая критериям.

Изучение отечественного и зарубежного опыта формирования «безбарьерной» среды, анализ нормативных документов и литературных источников позволили выявить три крите-

рия, наиболее полно отражающие приспособленность городской застройки потребностям маломобильных групп населения и инвалидов:

- критерий доступности городской среды для маломобильных групп населения, инвалидов-колясочников и инвалидов с нарушениями ОПД (K_1);
- критерий доступности городской среды для инвалидов по зрению и инвалидов с нарушениями слуха (K_2);
- критерий безопасности и комфортабельности городской среды для маломобильных групп населения и инвалидов (K_3).

В ходе исследования выполнена декомпозиция системы критериев. В результате получена система критериев и соответствующих им декомпозиционных множеств оценочных показателей, являющаяся основой для комплексной оценки городской среды в части соответствия потребностям маломобильных групп населения и инвалидов.

Исследования показали, что соответствие городской среды потребностям маломобильных групп населения и инвалидов определяется различными факторами.

Одним из основных факторов является досягаемость (доступность) мест целевого посещения и беспрепятственность перемещения внутри зданий и сооружений (на придомовых и городских территориях, в жилых зданиях, в общественных и административных зданиях).

Маломобильные группы населения. Основными оценочными показателями, соответствующими критерию доступности зданий и сооружения для маломобильных групп населения, являются:

- ширина пути движения на придомовых и городских территориях (x_1);
- продольный уклон пути движения на придомовых и городских территориях (x_2);
- перепады высот на путях движения (x_3);
- наличие мест на автостоянках около жилых зданий (x_4);
- наличие мест на автостоянках около предприятий розничной торговли (x_5);
- доступность автостоянок около жилых зданий (x_6);
- доступность автостоянок около административных зданий (x_7);
- ширина путей движения во внутренних помещениях жилых зданий (x_8);
- ширина дверных проемов во внутренних помещениях жилых зданий (x_9);
- доступность лестничных маршей в жилых зданиях (x_{10});
- доступность лифтов для МГН (x_{11});
- доступность образовательных учреждений для МГН (x_{12});
- доступность лечебно-профилактических учреждений для МГН (x_{13});
- доступность кредитно-финансовых учреждений для МГН (x_{14});
- наличие специально оборудованных мест в культурно-зрелищных учреждениях (x_{15});
- наличие специализированных зон для обслуживания МГН в общественных зданиях различного назначения (x_{16}).

Инвалиды. Поскольку значительная часть инвалидов относится к маломобильным группам населения, то большинство показателей, характеризующих соответствие их потребностям городской среды, условно отнесено нами к критерию доступности зданий и сооружений для маломобильных групп населения.

Другую категорию инвалидов составляют люди, страдающие частичным или полным поражением зрения и (или) слуха, для которых доступность зданий и сооружений определяется информативностью среды. Информативность обеспечивает разностороннюю возможность своевременного получения, осознания информации и соответствующего реагирования на нее. Требования информативности включают в себя:

- использование средств информирования, соответствующих особенностям различных групп потребителей;
- своевременное распознавание ориентиров в архитектурной среде общественных зданий;
- точную идентификацию своего места нахождения и мест, являющихся целью посещения;
- возможность эффективной ориентации как в светлое, так и в темное время суток;
- возможность иметь непрерывную информационную поддержку на всем пути следова-

ния по зданию или территории.

В результате анализа теории и практики создания «безбарьерной» среды для инвалидов, изучения нормативных документов нами выделены следующие оценочные показатели, характеризующие соответствие жилой среды потребностям инвалидов по зрению и инвалидов с нарушениями слуха:

- наличие на пересечениях пешеходных путей элементов предупреждения (x^1_1);
- оборудование замкнутых пространств внутри зданий средствами связи (x^1_2);
- наличие внутри зданий средств визуальной информации (x^1_3);
- наличие на придомовых и городских территориях средств визуальной информации (x^1_4);
- наличие внутри зданий акустических устройств дублирования визуальной информации (x^1_5);
- наличие на придомовых и городских территориях средств дублирования визуальной информации (x^1_6);
- наличие внутри зданий тактильной информации (x^1_7);
- наличие на придомовых и городских территориях тактильной информации (x^1_8).

Важнейшими характеристиками городской среды в части ее соответствия потребностям маломобильных групп населения и инвалидов являются безопасность и комфортабельность.

Под безопасностью понимается создание условий проживания, посещения места обслуживания или труда без риска быть травмированным каким-либо образом или причинить вред своему имуществу, а также нанести вред другим людям, зданию или оборудованию.

Основными требованиями безопасности являются:

- возможность избежать травм, ранений, увечий, излишней усталости из-за свойств архитектурной среды зданий (конструктивные решения, примененные материалы и др.);
- возможность своевременного опознавания и реагирования на места и зоны риска;
- отсутствие плохо воспринимаемых мест пересечения путей движения;
- предупреждение потребителей о зонах, представляющих потенциальную опасность;
- пожарная безопасность.

Уровень комфортабельности среды оценивается как с физической, так и с психологической позиций.

Критерий комфортабельности (удобства) содержит следующие основные требования:

- создание условий для минимальных затрат и усилий маломобильных групп населения и инвалидов на удовлетворение своих нужд и потребностей;
- обеспечение своевременной возможности отдыха, ожидания и дополнительного обслуживания, обеспечение условий для компенсации усилий, затраченных на движение и получение услуги;
- сокращение времени и усилий на получение необходимой информации.

Нижним пределом комфортабельности (удобства) следует считать уровень условий, при которых получение или предоставление необходимой информации не может быть признано дискомфортным (неудобным).

Повышение комфортабельности на практике осуществлять путем сокращения необходимого пути и времени для получения на одном месте нескольких услуг, увеличения числа мест отдыха, получения заблаговременно необходимой информации, применения необходимого и эргономичного оборудования и др.

В результате проведенного нами анализа были отобраны следующие оценочные показатели, соответствующие критерию безопасности и комфортабельности городской среды для МГН и инвалидов:

- ширина эвакуационных путей, предназначенных для эвакуации МГН и инвалидов (x^2_1);
- система средств информации и сигнализации об опасности (x^2_2);
- оборудование зданий и сооружений лифтами или подъемниками (x^2_3);
- наличие и оборудование площадок для отдыха МГН и инвалидов на придомовых и городских территориях (x^2_4);

- расположение приборов и устройств внутри зданий (x^2_5);
- наличие в уборных общественных зданий универсальных кабин (x^2_6);
- оборудование лестниц и крылец общественных зданий поручнями (x^2_7);
- наличие переговорных спецустройств в операционных кассах кредитно-финансовых учреждений и отделениях связи (x^2_8);
- наличие в раздевалках спортивных сооружений мест для хранения кресел-колясок (x^2_9);
- наличие в раздевалках спортивных сооружений индивидуальных кабин (x^2_{10}).

После выявления множества оценочных показателей, характеризующих критерии оценки соответствия городской среды потребностям МГН и инвалидов, были решены следующие задачи:

- выполнена нормализация разноразмерных оценочных показателей;
- проведен учет приоритетности (предпочтительности) оценочных показателей;
- количественно определены значения критериев оценки соответствия городской среды потребностям МГН и инвалидов.

Для практической реализации названные задачи были решены с использованием метода экспертных оценок. Были сформированы три группы экспертов, каждая из которых состояла из пяти человек.

Каждой группе экспертов было предложено количественно определить значения оценочных показателей (в баллах по десятибалльной шкале для каждого оценочного показателя), соответствующих тому или иному критерию оценки. Первая группа экспертов оценивала доступность городской среды для маломобильных групп населения, вторая группа – доступность городской среды для инвалидов, третья группа – безопасность и комфортабельность городской среды для МГН и инвалидов.

В состав всех групп были включены представители Департамента социальной защиты населения города Москвы. Кроме того, в составе экспертов первой группы работал инвалид-колясочник, второй группы – инвалид по зрению и инвалид по слуху, а в состав третьей группы был включен инвалид-колясочник и инвалид по зрению.

В качестве дополнительного задания экспертам было предложено определить перечень оценочных показателей, нулевые оценки которых недопустимы.

Детальный анализ результатов экспертирования позволил предложить качественные оценки городской среды и соответствующие им интервалы значений критериев комплексной оценки (табл. 1).

Таблица 1 – Качественная оценка городской среды в зависимости от интервалов значений критериев комплексной оценки

№ п.п.	Качество городской среды	Интервалы значений обобщенного критерия ($K_1+K_2+K_3$), балл
1	Хорошее	192...217
2	Удовлетворительное	165...191
3	Неудовлетворительное	<165
Примечание: при отсутствии на оцениваемых территориях тех или иных зданий и сооружений (учреждения образования, лечебно-профилактические, культурно-зрелищные учреждения и др.) условно принимаются максимальные оценки соответствующих оценочных показателей.		

При этом количественные характеристики каждого из критериев комплексной оценки не должны быть меньше пороговых значений:

- критерий доступности городской среды для МГН: $K_1 \geq 57$;
- критерий доступности городской среды для инвалидов: $K_2 \geq 45$;

- критерий безопасности и комфортабельности городской среды для МГН и инвалидов $K_3 \geq 36$.

Приведенные критерии позволяют проводить комплексную оценку соответствия объектов городской среды потребностям МГН и инвалидов как в процессе проектирования, так и в процессе эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конституция Российской Федерации (принята 12.12.1993, с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 №6-ФКЗ [Текст], от 30.12.2008 №7-ФКЗ).
2. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (принят ГД ФС РФ 22.12.2004) [Текст].
3. Федеральный закон Российской Федерации «О социальной защите инвалидов в РФ» от 24.11.1995 года, № 181-ФЗ [Текст].
4. Постановление Правительства РФ «Об обеспечении формирования доступной для инвалидов среды жизнедеятельности» №927 от 12.08.1994г. [Текст].
5. Бешелев, С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гуревич [Текст]. – М.: Статистика, 1980. – 163 с.

Семенова Светлана Анатольевна

Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства, г. Москва

Старший преподаватель кафедры «Городское строительство»

Тел.: +7 (495) 678-34-05

E-mail: sveta_semenova@bk.ru

Шрейбер Алла Алексеевна

Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства, г. Москва

Кандидат технических наук, профессор кафедры «Городское строительство»

Тел.: +7 (495) 678-34-05

E-mail: shreiberaa@yandex.ru

SEMENOVA S.A., SHREIBER A.A.

COMPLEX APPRAISAL OF CITY ENVIRONMENT REGARDING THE NEEDS OF PEOPLE WITH LOW MOBILITY AND THE DISABLED

The article presents the results of research on the formation of “barriers-free” city environment adapted to the needs of people with low mobility and the disabled.

The authors worked out the methods of complex appraisal of city environment regarding its correspondence with the needs of people with low mobility and the disabled.

On the basis of conducted research the authors suggest and substantiate criteria for the complex appraisal of city environment regarding the needs of people with low mobility and the disabled. The appraisal includes accessibility of compulsory-visited places and possibility to move freely within city limits, apartment houses, administrative and public buildings. The following criteria have been suggested: accessibility of city environment for people with low mobility, wheelchair users and people with the dysfunction of musculoskeletal apparatus; accessibility of city environment for the disabled with poor eyesight and the disabled with dull hearing; safety and comfort of city environment for people with low mobility and the disabled. The system of appraisal indicators has been formed for each criterion.

Approbation of the suggested methods was carried out in Moscow areas.

Keywords: city, «barriers-free» city environment, complex appraisal of city environment with regard for the needs of the disabled and scarcely mobile groups of population.

BIBLIOGRAPHY

1. Konstitucija Rossijskoj Federacii (prinjata 12.12.1993, s uchetom popravok, vnesennyh Zakonami RF o popravkah k Konstitucii RF ot 30.12.2008 №6-FKZ [Tekst], ot 30.12.2008 №7-FKZ).
2. Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii ot 29.12.2004 №190-FZ (prinjat GD FS RF 22.12.2004) [Tekst].
3. Federal'nyj zakon Rossijskoj Federacii «O social'noj zawite invalidov v RF» ot 24.11.1995 goda, №181-FZ [Tekst].
4. Postanovlenie Pravitel'stva RF «Ob obespechenii formirovanija dostupnoj dlja invalidov sredy zhiznedejatel'nosti» №927 ot 12.08.1994g. [Tekst].
5. Beshelev, S.D. Matematiko-statisticheskie metody jekspertnyh ocenok / S.D. Beshelev, F.G. Gurevich [Tekst]. – M.: Statistika, 1980. – 163 s.

Semenova Svetlana Anatolevna

Moscow state academy of municipal services and construction, Moscow

The senior teacher of department «City building»

Ph.: +7 (495) 678-34-05

E-mail: sveta_semenova@bk.ru

Shrejber Alla Alekseevna

Moscow state academy of municipal services and construction, Moscow

Candidate of technical sciences, professor of department «City building»

Ph.: +7 (495) 678-34-05;

E-mail: shreiberaa@yandex.ru

УДК 691:699.88:504

АЛОЯН Р.М., ГУЮМДЖЯН П.П., ВЕТРЕНКО Т.Г.,
КОСТЯШОВА Е.В.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований процессов получения экологически безопасных по содержанию естественных радионуклидов строительных материалов. Показано, что одним из основных факторов, определяющих общий радиационный фон в жилых помещениях, является гамма-излучение, количество которого нормируется показателем удельная эффективная активность ($A_{эфф}$) естественных радионуклидов, содержащихся в строительных материалах. При этом структура и свойства строительного материала во многом определяются характеристикой исходных веществ, и изменение сырьевых компонентов, а также состава и технологии производства материала позволяют регулировать его свойства, что предопределяет большие возможности в получении экологически безопасной строительной продукции.

Ключевые слова: строительный материал, экологическая безопасность, естественные радионуклиды, композиционный материал, удельная эффективная активность, гамма-излучение.

В современных условиях строительства применяется большое количество самых разнообразных строительных и отделочных материалов, расширяется перечень используемого при их производстве сырья природного и техногенного характера. Из-за обилия источников загрязнения во внешней окружающей среде в жилые помещения поступают сотни вредных соединений. В 1986 г. было обнаружено более 300 летучих соединений, а в 1990-х годах их было уже более 900. Концентрация загрязняющих веществ внутри помещения зачастую выше, чем в наружном воздухе (при этом разница может достигать 100-кратной величины!). Именно жилище, его внутренняя воздушная среда отвечают за основной «вклад» в химическую нагрузку на организм человека.

Однако на сегодняшний день приходится констатировать, что экологическая безопасность не является главным критерием качества строительной продукции. Поэтому остро стоит проблема создания безопасной для человека внутренней среды помещений и производства экологически безопасных строительных материалов. Актуальность проблемы обусловлена и тем, что большую часть своей жизни человек проводит в зданиях и сооружениях, внутренняя среда которых может стать фактором дополнительного риска развития различных заболеваний: аллергических, бронхо-легочных в т.ч. бронхиальной астмы, сердечно-сосудистых и т.д.

Обеспечение экологической безопасности строительных материалов может быть охарактеризована следующими концептуальными положениями:

- исключение возможности выделения опасных для окружающей среды и здоровья человека веществ при производстве и применении строительных материалов;
- исключение возможности выделения опасных для окружающей среды и здоровья человека веществ в случае аварии или стихийного бедствия;
- экономия сырьевых ресурсов, предполагающая возможность их возобновления и щадящие способы добычи;
- минимизация расхода энергии на производство, транспортирование и применение строительных материалов;
- положительное влияние строительных материалов на здоровье и эмоциональное состояние людей;

- использование строительных материалов, имеющих длительный срок эксплуатации;
- возможность рециркуляции материалов;
- снижение количества отходов при производстве и применении материалов, отсутствие опасных отходов.

Обеспечение экологической безопасности строительных материалов, конструкций – это еще и защита конституционных прав граждан. Решать проблему экологии необходимо исходя из того, что здоровье потребителей не должно ухудшаться от их пребывания в жилых, общественных и производственных помещениях. С учетом этого обстоятельства должны определяться как критерии выбора жилья и строительных материалов, конструкций и изделий самим населением, так и приоритеты государственного регулирования этого рынка.

При такой постановке вопроса основной задачей исследования становится изучение качества внутренней воздушной среды, его определяющие факторы, а также влияние условий проживания на здоровье человека. Такие исследования должны давать конкретные и ощутимые результаты, улучшающие катастрофическую ситуацию в этой области.

Было бы несправедливо утверждать, что защита здоровья человека не предусмотрена на законодательном уровне в России. Обеспечение требования экологической безопасности внутренней воздушной среды предусматривается в Законе РФ от 30.03.1999 № 52-ФЗ (ред. от 30.12.2001) «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», в соответствии со ст. 11 которого индивидуальные предприниматели и юридические лица в соответствии с осуществляемой ими деятельностью обязаны, в частности, обеспечивать безопасность для здоровья человека выполняемых работ и оказываемых услуг, а также продукции производственно-технического назначения, пищевых продуктов и товаров для личных и бытовых нужд при их производстве, транспортировке, хранении, реализации населению [1].

Вместе с тем, несмотря на то, что специалисты в своих исследованиях и публикациях выделяют проблему низкого качества строительных материалов, конструкций и изделий как приоритетную, от которой в большей степени зависит безопасность для здоровья человека внутренней воздушной среды, в этом Законе вопрос качества строительной продукции вообще не затрагивается.

В соответствии с Приказом Минздрава РФ от 15.08.2001 №325 (ред. от 18.03.2002) «О санитарно-эпидемиологической экспертизе продукции» санитарно-эпидемиологической экспертизе подлежит только строительное сырье и материалы, в которых гигиеническими нормативами регламентируется содержание радиоактивных веществ, в том числе производственные отходы для повторной переработки и использования в народном хозяйстве, металлолом [2].

Рассмотрим вопрос о радиационной безопасности как составной части экологической безопасности.

Одним из факторов, определяющих радиационное качество жилой среды, является гамма-излучения естественных радионуклидов, которые содержатся в материалах ограждающих конструкций зданий. Для данного фактора установлен нормируемый показатель – содержание и удельная эффективная активность ($A_{эфф}$) естественных радионуклидов (ЕРН) в строительных материалах и изделиях.

В настоящее время в стандартах и технических условиях практически для всех видов строительных материалов или сырьевых ресурсов для их изготовления реализованы требования по ограничению содержания ЕРН [3].

Все строительные материалы и изделия подразделяются на 4 класса по величине удельной эффективной активности ЕРН. Материалы I класса (до 370 Бк/кг) могут применяться при строительстве любых объектов, в том числе для жилых и общественных вновь строящихся зданий, материалы II класса (до 740 Бк/кг) – в промышленном строительстве, строительстве дорог в пределах населенных пунктов. Материалы III класса (до 1500 Бк/кг) могут использоваться для строительства дорог за пределами населенных пунктов, а материалы IV класса – применяться только по специальному разрешению.

До 10% отечественных строительных материалов имеют удельную эффективную активность, превышающую 370 Бк/кг. Люди, проживающие в домах, построенных из этих ма-

териалов, получают максимально возможную дозу облучения на 1310 мк³/год больше, чем средняя доза для населения страны.

Для определения факторов, влияющих на содержание естественных радионуклидов в продукции строительного назначения, были проведены исследования сырья и строительных материалов, а также промышленных отходов.

Исследования показали, что содержание естественных радионуклидов варьируется в широких пределах.

Наибольшую величину удельной эффективной активности ЕРН имеют глинистое сырье и керамические материалы, а также гранитный щебень и зола (табл. 1).

Низкое содержание ЕРН характерно для большинства сырьевых и естественных строительных материалов, относящихся к осадочным горным породам. Так мел, известняк, незаглинизированные кварцевые пески, известняковый щебень, цементно-песчаный раствор характеризуются низкими значениями $A_{эфф}$.

Структура и свойства строительного материала во многом определяются характеристикой исходных веществ. Изменение сырьевых компонентов, состава и технологии производства материала позволяют создавать различные структуры и регулировать его свойства, что предопределяет большие возможности в получении экологически безопасной строительной продукции. Изменение минерального состава сырьевых компонентов путем ввода добавок приводит к различию содержания ЕРН в строительных материалах.

Таблица 1 – Содержание ЕРН в сырьевых ресурсах и строительных материалах Ивановской области

Наименование материалов	Удельная активность, Бк/кг			Эффективная удельная активность $A_{эфф}$, Бк/кг
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	
Глина	16,3	52,4	96,3	81,6
Плитка керамическая глазурованная	68,2	54,2	595	179,8
Плитка керамическая неглазурованная	17,8	20,6	610,7	96,8
Кирпич керамический	47,2	42,1	553,4	149,4
Керамзит	41,4	56,4	663	171,6
Щебень	67,3	48,6	98,4	86,3
Щебень известняковый	31,4	26,4	58,6	41,3
Щебень гранитный	176,3	101,2	1250	263,4
Песок	28,6	17,6	162	69,6
Гравий	25,3	28,9	459,0	77,3
Керамзитобетон	78,4	49,2	408,1	172,9
Портландцемент М-500 ДО	19,7	13,8	144	58,3
Портландцемент М-400	18,1	16,7	149	63,6
Зола ТЭС	118,6	93,4	964,4	196,4
Мел	7,1	5,2	36,5	17,0
Цементно-песчаный раствор	20,9	10,1	219,2	52,8
Строительный раствор	21,5	16,1	298	67,9
Кирпич силикатный	23,4	4,8	72,2	35,83
Известь	12,1	4,0	37,0	20,5

При производстве строительных материалов и изделий содержание естественных радионуклидов в зависимости от состава сырья и особенностей технологических процессов, в основном, изменяется. Но без применения дополнительных мер по уменьшению содержания ЕРН их концентрация в материале снижаться не будет.

Как показали ранее проводимые исследования [4], например, при дроблении каменных пород и техногенного сырья происходит обогащение естественными радионуклидами наиболее мелких фракций. Наиболее интенсивно происходит обогащение ²²⁶Ra. Поэтому рекомендуется удалять мелкие отсеvy дробления и пыль-уноса вращающихся печей и сушилок из сырьевых смесей, что позволяет снижать содержание ЕРН в готовом продукте на 15-40%.

Для золы-уноса наблюдается аналогичная зависимость. Причем уменьшение фракции золы-уноса приводит к значительному возрастанию содержания ЕРН и соответственно значения $A_{эфф}$. Зола из сырьевого материала, относящегося к 1-му классу по радиационной безопасности, попадает во 2-ой класс, запрещающий ее использование как компонент для получения строительных изделий.

В значительной степени снизить содержание ЕРН таких сырьевых компонентов можно отмывкой водой либо растворами слабых кислот.

Большинство строительных материалов являются композиционными, состоящими из двух и более компонентов, а значение их удельной эффективной активности подчиняется правилу аддитивности. Удельную эффективную активность ($A_{эфф}$) композиционного материала при известных значениях $A_{эфф}$ отдельных компонентов и их содержания может быть рассчитана по формуле:

$$A_{эфф} = \sum_{i=1}^n A_{эффi} \cdot q_i = (A_{эфф1} \cdot q_1 + A_{эфф2} \cdot q_2 + \dots + A_{эффn} \cdot q_n) / (q_1 + q_2 + \dots + q_n), \quad (1)$$

где q_i – удельное содержание компонента в композиционном материале.

Формула (1) может быть использована для прогнозирования естественных радионуклидов в готовых изделиях на основании данных о радионуклидном составе исходных компонентов материала.

Результаты исследований также показывают, что если все составляющие композиционного материала имеют содержание ЕРН менее 370 Бк/кг, то удельная эффективная активность готовых изделий будет соответствовать требованиям [3] при любых соотношениях исходных компонентов. В этом случае строительный материал будет принадлежать к 1 классу по радиационной безопасности.

Однако радиационный контроль продукции строительного назначения, осуществляемый в соответствии с СП 2.6.1.758-99, позволяет только определять удельную эффективную активность ЕРН и не дает возможности прогнозировать их содержание в готовых материалах и изделиях после определенного технологического цикла [5]. Осуществлять оперативный контроль сырьевых материалов и готовой продукции предприятия не имеют возможности, ввиду отсутствия дорогостоящего оборудования радиационного контроля. Поэтому выявление основных факторов, определяющих содержание ЕРН в строительных материалах, и разработка методики, позволяющей прогнозировать содержание ЕРН на стадии проектирования, позволят своевременно принимать меры по предотвращению дополнительного облучения людей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон РФ от 30.03.1999 №52-ФЗ (ред. от 30.12.2001) «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» // Первоначальный текст документа опубликован в Собрании законодательства РФ. 05.04.1999. №14, ст. 1650.
2. Приказ Минздрава РФ от 15.08.2001 №325 (ред. от 18.03.2002) «О санитарно-эпидемиологической экспертизе продукции» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 19.10.2001 №2978) // Первоначальный текст документа опубликован в «Российской газете». №210. 27.10.2001.
3. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – С. 11.
4. Лукутцова, Н.П. Строительные материалы в экологическом аспекте [Текст] Н.П. Лукутцова. – Брянск: БГИТА, 2001. – 215 с.
5. СП 2.6.1.758-99 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Минздрав Рос. Федерации. – М., 1999. – 115 с.

Алоян Роберт Мишаевич

ГОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Геоинформационные системы и инженерные изыскания»

Гуюмджян Перч Погосович

ГОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Доктор технических наук, профессор кафедры «Производство строительных материалов»

Ветренко Татьяна Григорьевна

ГОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидравлика, водоснабжение и водоотведение»
E-mail: Veter_TG@mail.ru

Костяшова Екатерина Владимировна

ГОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Аспирант кафедры «Производства строительных материалов»

ALOJAN R.M., GUJUMDZHJAN P.P., VETRENKO T.G.,
KOSTJASHOVA E.V.

ECOLOGICAL SAFETY BUILDING MATERIALS

The results of theoretical and experimental studies of processes for environmentally sound natural radionuclide content of building materials. It is shown that one of the main factors determining the overall background radiation in a residential area, is a gamma-radiation, the amount of which is normalized index of specific effective activity (A_{eff}) of natural radionuclides in building materials. Thus structure and properties of a building material are in many respects defined by the characteristic of initial substances, and change of raw components, and also structure and the material production technology allow to regulate its properties that predetermines the big possibilities in reception of ecologically safe building production.

Keywords: building material, environmental security and natural radionuclides, composite material, effective activism, gamma-radiation.

BIBLIOGRAPHY

1. Zakon RF ot 30.03.1999 №52-FZ (red. ot 30.12.2001) «O sanitarno-jepidemiologicheskom blagopoluchii naselenija» // Pervonachal'nyj tekst dokumenta opublikovan v Sobranii zakonodatel'stva RF. 05.04.1999. №14, st. 1650.
2. Prikaz Minzdrava RF ot 15.08.2001 №325 (red. ot 18.03.2002) «O sanitarno-jepidemiologicheskoj jekspertize produkcii» (Zaregistrirvano v Minjuste RF 19.10.2001 №2978) // Pervonachal'nyj tekst dokumenta opublikovan v «Rossijskoj gazete». №210. 27.10.2001.
3. GOST 30108-94. Materialy i izdelija stroitel'nye. Opredelenie udel'noj jeffektivnoj aktivno-sti estestvennyh radionuklidov. – M.: Izd-vo standartov, 1995. – S. 11.
4. Lukutcova, N.P. Stroitel'nye materialy v jekologicheskom aspekte [Tekst] N.P. Lukutcova. – Brjansk: BGITA, 2001. – 215 s.
5. SP 2.6.1.758-99 Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99). Minzdrav Ros. Federacii. – M., 1999. – 115 s.

Alojan Robert Mishaevich

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo
Doctor of technical science, professor, manager of department «Geoinformation systems and in zhenernye researches»

Gujumdzhan Perch Pogosovich

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo
Doctor of technical science, professor of department «Manufacture of building materials»

Vetrenko Tatyana Grigorevna

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo
Candidate of technical science, senior lecturer of department «Hydraulics, water supply and water removal»
E-mail: Veter_TG@mail.ru

Kostjashova Ekaterina Vladimirovna

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo
Post-graduate student of department «Manufacture of building materials»

ОГУРЦОВ В.А., ГОРОХОВА Е.Р., ОГУРЦОВ А.В.,
МЕДВЕДЕВА П.А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ПРИ ВИБРОГРОХОЧЕНИИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

Предложена математическая модель движения частиц сыпучего материала на грохоте в виброоживленном слое, базирующаяся на теории цепей Маркова. Пространство состояний задачи представлено совокупностью ячеек конечного размера, соответствующих слоям сепарируемого материала, и одной ячейкой для пространства проходových частиц. Состояние процесса характеризуется относительной концентрацией проходových частиц в ячейках слоя. Изменение состояния процесса во времени реализуется матрицей переходных вероятностей. Изменение состояния ячейки, соответствующей подситовому пространству, описывает кинетику грохочения.

Ключевые слова: сыпучий материал, вибрационный грохот, вектор состояния, матрица переходных вероятностей, эффективность грохочения.

Процессы фракционирования сыпучих материалов на грохотах различного принципа действия и конструкций играют важную роль во многих технологиях строительной и смежных отраслях промышленности. Однако научные основы их проектирования и моделирования разработаны недостаточно. Многообразие конструкций грохотов породило и многообразие подходов к их моделированию и расчету, которые чаще всего сводятся к обобщению натурных или стендовых экспериментальных данных, получение которых трудоемко. Эти подходы практически себя исчерпали и не оставляют возможности обоснованного поиска путей дальнейшей интенсификации грохочения и разработки оборудования для его реализации.

Сыпучий материал является средой с очень специфическими свойствами, где доминирует случайность. Случайны размеры и форма входящих в него частиц, их физико-механические свойства и условия взаимодействия частиц друг с другом. Доминирование случайности в свойствах и поведении сыпучих материалов определило применение вероятностных моделей для описания проходящих в них процессов. Одним из наиболее эффективных математических аппаратов для описания эволюции систем со случайными свойствами является теория цепей Маркова. Этот подход наиболее соответствует природе процесса движения частиц по сыпучему слою и проникновению их через отверстия просеивающей поверхности грохота [1].

Рассмотрим движение частиц проходовой фракции по сыпучему слою, учитывая диффузионный и сегрегационный механизмы процесса. Условия проникновения мелких частиц через отверстия сита определяются их размером. Чем ближе размер частицы к размеру отверстия сита, тем меньше скорость проникновения такой частицы через просеивающую поверхность, и тем меньше ее вероятность проникнуть через отверстия сита.

Пусть слой сыпучего материала состоит из m ячеек высотой Δx (рис. 1). Движение частиц проходовой фракции рассматривается через малые конечные промежутки времени Δt , в течение которых частицы могут переместиться не далее соседней ячейки. Тогда текущее время определится как $t_k = (k-1)\Delta t$, где k – номер временного перехода, который может рассматриваться как дискретный аналог времени.

Вероятности пространства состояний, адекватные концентрации частиц проходовой фракции в каждой ячейке, определяются вектором-столбцом S^k .

В начальный момент времени пространство вероятностных состояний S^0 определяется загрузкой сыпучего материала на виброгрохот. В течение k -го перехода состояние S^k переходит в состояние S^{k+1} , причем эволюция состояния описывается матричным равенством:

$$S^{k+1} = P \cdot S^k, \quad (1)$$

где P – матрица переходных вероятностей, определяемая выражением:

$$P = \begin{bmatrix} p_{s1} & p_{u2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_{d1} & p_{s2} & p_{u3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_{d2} & p_{s3} & p_{u4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_{d3} & p_{s4} & p_{u5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_{d4} & p_{s5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{d5} & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

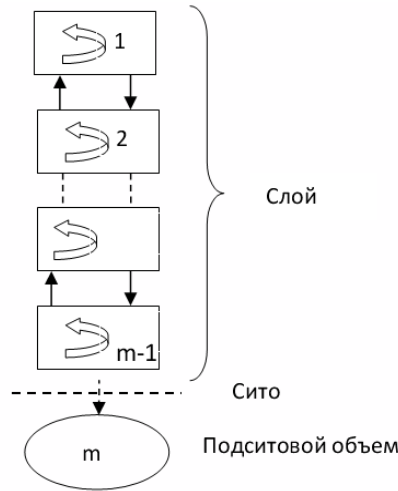


Рисунок 1 – Ячеечная модель процесса грохочения

В этой матрице в столбце, соответствующем номеру ячейки i , находятся вероятности перейти в течение Δt вверх $p_{ui}=d$, вниз $p_{di}=d+v$, и остаться в ячейке $p_{si}=1-2d-v$. Эти вероятности учитывают симметричную чисто случайную составляющую с нулевым математическим ожиданием d и конвективную составляющую v . Эти величины связаны с диффузионным и сегрегационным переносом частиц в виброожиженном слое соотношениями: $v=V\Delta t/\Delta x$, $d=D\Delta t/\Delta x^2$, где V – размерная скорость сегрегации, D – размерный коэффициент макроdiffузии. В ячейке, соответствующей подситовому объему, $p_{sm} = 1$. Вероятность выхода в подситовой объем из нижней ячейки слоя $p_{dm-1}=v_f$ отличается от других вероятностей перехода вниз. Записанная в данных обозначения матрица (2) приобретает вид:

$$P = \begin{bmatrix} p_{s1} & d & 0 & 0 & 0 & 0 \\ v+d & p_{s2} & d & 0 & 0 & 0 \\ 0 & v+d & p_{s3} & d & 0 & 0 \\ 0 & 0 & v+d & p_{s4} & d & 0 \\ 0 & 0 & 0 & v+d & p_{s5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & v_f & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где величины v и d приняты одинаковыми для всех ячеек слоя, а элементы главной диагонали рассчитываются как разность между единицей и суммой всех остальных вероятностей в столбце. Выход частиц в подрешетное пространство на каждом переходе может быть рассчитан по формуле:

$$q(k) = S_m^{k+1} - S_m^k = S_{m-1}^k v_f. \quad (4)$$

Кинетика извлечения проходowych частиц, рассчитывается как:

$$\varepsilon(k) = \sum_{k=1}^k q(k). \quad (5)$$

Используя уравнения модели (1)-(5), можно рассчитать кинетику грохочения. Результаты расчетов зависят от начального распределения проходowych частиц в слое S^0 , конвективной

ν и диффузионной d составляющих вероятностей перехода из одной ячейки слоя в соседние, а так же от вероятности ν_f перехода частиц из нижней ячейки в подситовое пространство. Определение вероятности прохождения проходowych частиц через отверстия сита расчетным путем построено на описании движения одиночной частицы над поверхностью сита грохота [2].

На рисунке 2 приведены опытные и расчетные кинетики грохочения двухкомпонентной смеси. Эксперимент проводился при следующих условиях: амплитуда колебаний сита – 4 мм, частота – 75 с^{-1} ; средняя высота виброожиженного слоя – 4,7 см. Расчетная кривая I кинетики соответствует грохочению двухкомпонентной смеси при начальном распределении проходowych частиц на поверхности грохотимого слоя, кривая II соответствует равномерному начальному распределению проходowych частиц по высоте слоя. При построении расчетных кривых использовались следующие величины: число ячеек в слое – 4; число переходов – 600 ($\Delta t = 0,1 \text{ с}$); коэффициент живого сечения сита – 0,9; расчетная вероятность проникновения частиц через отверстия сита – 0,518. Идентификация расчетных и опытных данных кинетики грохочения позволила определить стохастические коэффициенты модели: безразмерный коэффициент макродиффузии $d = 1,35 \cdot 10^{-3}$ и безразмерную скорость сегрегации $\nu = 6,5 \cdot 10^{-3}$. Адекватность предлагаемой модели процесса грохочения подтверждается результатами интегральных характеристик процесса, какими являются кинетики грохочения.

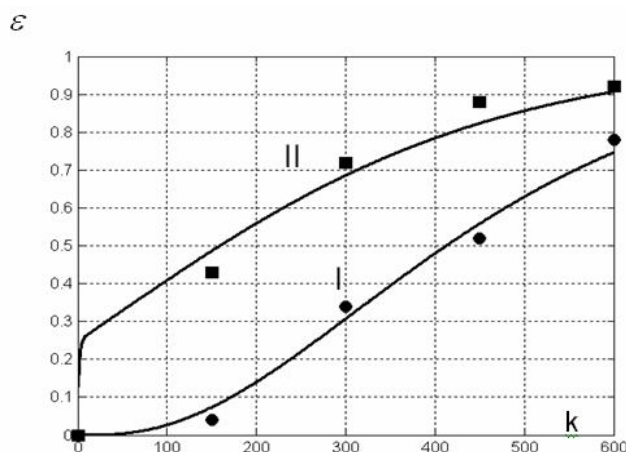


Рисунок 2 – Кинетика грохочения двухкомпонентной смеси

Таким образом, предложенная модель, основанная на теории цепей Маркова, позволяет эффективно моделировать кинетику грохочения и ее связь с параметрами процесса, используя ясный и простой алгоритм построения модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федосов, С.В. Моделирование классификации полидисперсных материалов на виброгрохотах [Текст] / С.В. Федосов, В.Е. Мизонов, В.А. Огурцов // Строительные материалы, 2007. – №11. – С. 26-28.
2. Огурцов, В.А. Моделирование движения частиц над поверхностью сита виброгрохота [Текст] / В.А. Огурцов // Строительные материалы, 2008. – №8. – С. 72-73.

Огурцов Валерий Альбертович

ГОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Доктор технических наук, профессор кафедры «Строительная механика»
Тел.: +7 962 156 69 08
E-mail: ogurtzovvawork@mail.ru

Горохова Екатерина Романовна

ГОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Аспирантка
Тел.: +7 920 671 63 81

Огурцов Александр Валерьевич

Ивановский государственный архитектурно-строительный университет, г. Иваново

Аспирант

Тел.: +7 960 510 28 90

Медведева Полина Александровна

ГОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново

Аспирантка

Тел.: +7 920 360 10 42

OGURTZOV V.A., GOROKHOVA E.R., OGURTZOV A.V.,
MEDVEDEVA P.A.

**MODELLING OF PARTICLES MOTION AT SCREENING
ON THE BASIS OF THE THEORY OF MARKOV CHAINS**

A cell model to describe particle separation kinetics at high particle concentration under non-homogeneous mass force is proposed. The model is based on the theory of Markov chains with the state dependent matrix of transition probabilities. The sample space to the problem is presented as a finite number of cells corresponding to layers of the material to be separated and one cell for undersize particles collector. The state of the process is defined by the set of probabilities for an undersize particle to belong to these states. Variation of the state with time is controlled by the matrix of transition probabilities the rule of constructing which is described. The probability for an undersize particle to appear in the collector is the degree of separation, and its variation with time describes the kinetics of separation.

Keywords: granular material, vibration screen, state vector, matrix of transition probabilities, efficiency of screening.

BIBLIOGRAPHY

1. Fedosov, S.V. Modelirovanie klassifikatsii polidispersnykh materialov na vibrograhotah [Tekst] / S.V. Fedosov, V.E. Mizonov, V.A. Ogurtsov // Stroitel'nye materialy, 2007. – №11. – S. 26-28.
2. Ogurtsov, V.A. Modelirovanie dvizheniya chastic nad poverhnost'yu sita vibrograhota [Tekst] / V.A. Ogurtsov // Stroitel'nye materialy, 2008. – №8. – S. 72-73.

Ogurtsov Valery Albertovich

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo

Doctor of technical science, professor of department «Building mechanics»

Ph.: +7 962 156 69 08

E-mail: ogurtzovvawork@mail.ru

Gorokhov Ekaterina Romanovna

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo

Post-graduate student

Ph.: +7 920 671 63 81

Ogurtsov Aleksandr Valeryevich

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo

Post-graduate student

Ph.: +7 960 510 28 90

Medvedeva Polina Aleksandrovna

Ivanovo state architecturally-building university, Ivanovo

Post-graduate student

Ph.: +7 920 360 10 42

СЕРЕГИН Г.В., БУРДУН К.И.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЛОКОВ КОСОХОДНОЙ ЗОНЫ УСТАНОВКИ СУХОГО ТУШЕНИЯ КОКСА

Статья посвящена вопросам оценки возможности применения жаростойкого бетона с улучшенными прочностными и огневыми характеристиками, достигнутыми благодаря использованию в его составе специально разработанного авторами вяжущего на основе высокоглиноземистого цемента модифицированного меламино-формальдегидным суперпластификатором МФ-АР и тонкомолотой высокоогнеупорной добавкой хромоглиноземистого шлака. Представлены результаты расчета несущей способности блоков косоходной зоны установок сухого тушения кокса, испытывающих весьма сложные напряжения в процессе эксплуатации вследствие неблагоприятного сочетания нагрузок: собственный вес блоков и конструкций, расположенных выше и температурные воздействия. Приведенные расчеты подтверждают высокую эффективность разработанного состава жаростойкого бетона.

Ключевые слова: жаростойкий бетон, блоки косоходной зоны УСТК, расчет по несущей способности, ПВК Structure CAD.

В коксохимическом производстве после выгрузки кокса из коксовых печей его направляют в установки сухого тушения кокса (УСТК), разработанные институтом ГИПРОКОКС (рис. 1). Наиболее сложная картина напряжений возникает в элементах косоходной зоны (блоки №1, 2), имеющей проходы для циркуляции газов в соответствии с технологией тушения.

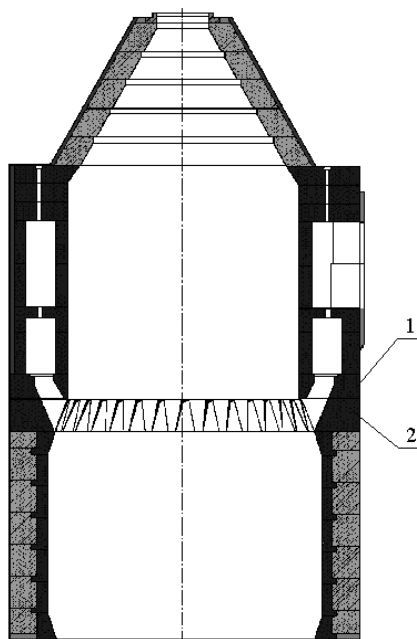


Рисунок 1 – Схема установки сухого тушения кокса: 1 – блок № 1; 2 – блок № 2

Температура загружаемого в камеру раскаленного кокса составляет 900-1000°C, а температура циркулирующих газов на входе и выходе косых ходов 650-850°C. При кратковременных остановках выпуска из камеры тушения возможно снижение температуры до 300°C, при длительных остановках с выгрузкой кокса температура снижается до температуры окружающей среды.

Основные положения расчета заключаются в следующем:

1. Блоки работают в сложном напряженном состоянии: под действием вертикальной нагрузки и температурных воздействий (650-850°C).
2. Расчетная схема должна отвечать принятым конструктивным решениям.
3. Блоки рассматриваем как бетонную конструкцию, прочность которой в стадии эксплуатации будет обеспечиваться одним бетоном.
4. Материал блоков – модифицированный жаростойкий бетон на высокоглиноземистом цементе с шамотным заполнителем.
5. Расчет блоков, работающих в условиях воздействия высокой (до 850°C) температуры, производим с учетом неблагоприятного сочетания нагрузок: собственный вес, внешняя нагрузка и воздействие температуры с учетом кратковременного ее действия (учитывается введением коэффициентов по материалу).
6. Влияние высокой температуры на бетон производим для основной расчетной стадии работы: кратковременный нагрев – воздействие расчетной температуры в период эксплуатации.
7. Считаем, что перемещения по периметру, вызванные действием повышенных температур, не вызывает напряжений в блоках, так как гасятся межблочными температурными швами.

Расчет выполняем с помощью программно-вычислительного комплекса (ПВК) Structure CAD. Для этого создаем расчетную модель в соответствии с разработанными чертежами блока 1 (рис. 2). Модель формируем из объемных элементов с максимальным размером стороны 0,02 м (рис. 3). К расчетной схеме приложена нагрузка от собственного веса и вертикальное давление интенсивностью 0,2 МПа (в соответствии с чертежами №928777 У 78 ГИПРОКОКС), приложенное к верхней грани блока. В узлы основания модели введены связи конечной жесткости по направлениям общей системы координат X, Y и Z, отражающие трение между блоками и упругие характеристики материала ниже лежащих рядов блоков. Так как деформации блоков возможны в радиальном направлении, а также из-за отсутствия перепада температур в блоках по высоте проверку на действие температурных перепадов не проводим.

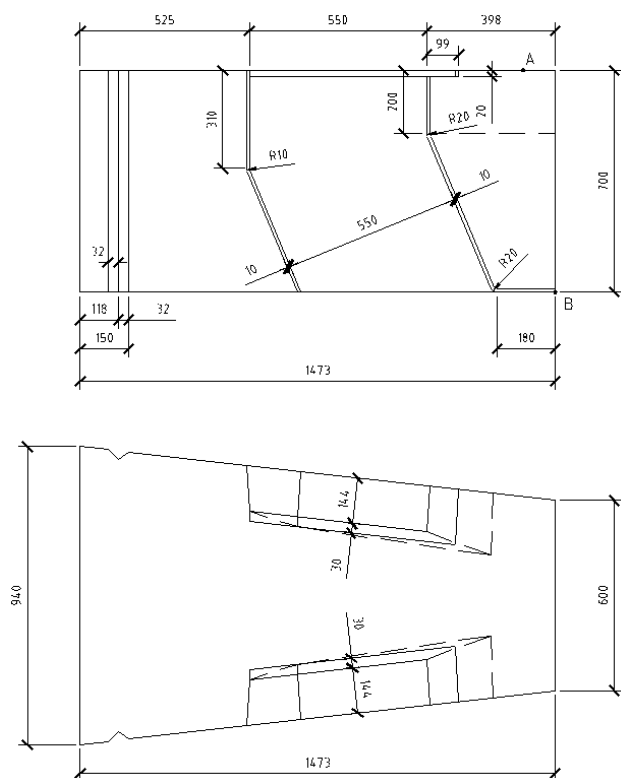


Рисунок 2 – Конструкция блока №1

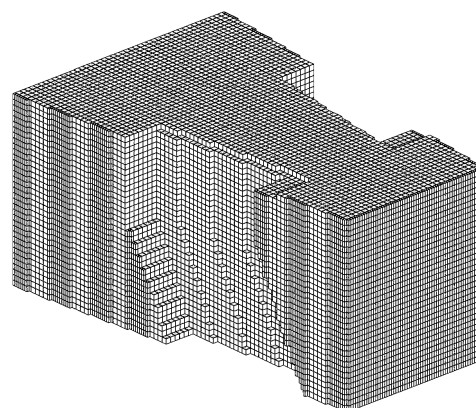


Рисунок 3 – Расчетная модель блока №1

Для расчета приняты физико-механические характеристики материала блоков – жаростойкий бетон класса В35 (плотность $\rho=2000 \text{ кг/м}^3$) на высокоглиноземистом цементе марки

500 с шамотным заполнителем с использованием комплексного модификатора – суперпластификатора МФ-АР и тонкомолотой добавки, разработанного нами в ИГАСУ согласно программы диссертационной работы [1].

Определяем несущую способность блока 1 в ПВК SCAD.

Характеристики бетона В35 принимаем в соответствии с [2] (табл. 5.2): начальный модуль упругости бетона $E_b = 2,35 \cdot 10^3$ МПа; расчетные сопротивления бетона сжатию и растяжению для предельных состояний первой группы $R_b = 19,5$ МПа и $R_{bt} = 1,3$ МПа соответственно. Коэффициенты, учитывающие работу материала при высоких температурах, по таблице 5.3 [1] имеют намного более низкие значения в сравнении с нашими экспериментальными данными, т.к. в СНиПе приведены коэффициенты для бетонов на глиноземистом цементе, а высокоглиноземистый цемент имеет лучшие огневые характеристики за счет более высокого содержания Al_2O_3 . В этой связи приняты коэффициенты, полученные экспериментально: коэффициент условий работы бетона при сжатии $\gamma_{br} = 0,4$, при растяжении $\gamma_{bt} = 0,3$ и $\beta_b = 0,4$.

В расчете принимаем (для кратковременного нагрева бетона) начальный модуль упругости с учетом термического коэффициента: $E_{br} = E_b \cdot \beta_b = 2,35 \cdot 10^3 \cdot 0,4 = 0,94 \cdot 10^3$ МПа.

Расчетные значения сопротивления бетона по предельным состояниям первой группы при нагреве: сжатие – $R_{b,tem} = R_b \cdot \gamma_{br} = 19,5 \cdot 0,4 = 7,8$ МПа, растяжение – $R_{bt} = R_{bt} \cdot \gamma_{bt} = 1,3 \cdot 0,3 = 0,39$ МПа.

После выполнения расчета в ПВК SCAD был произведен анализ напряжений, возникающих в конструкции под действием приложенных усилий:

– максимальные растягивающие напряжения возникают по оси Y на внутренней грани косого хода со стороны рабочей камеры УСТК (рис. 4, а) и равны:

$$\sigma_+ = 0,3 \text{ МПа} < R_{bt} = 0,39 \text{ МПа};$$

– максимальные сжимающие напряжения возникают на опорной плоскости блока по оси Z (рис. 4, в) и равны:

$$\sigma_- = 0,97 \text{ МПа} < R_{b,tem} = 7,8 \text{ МПа}.$$

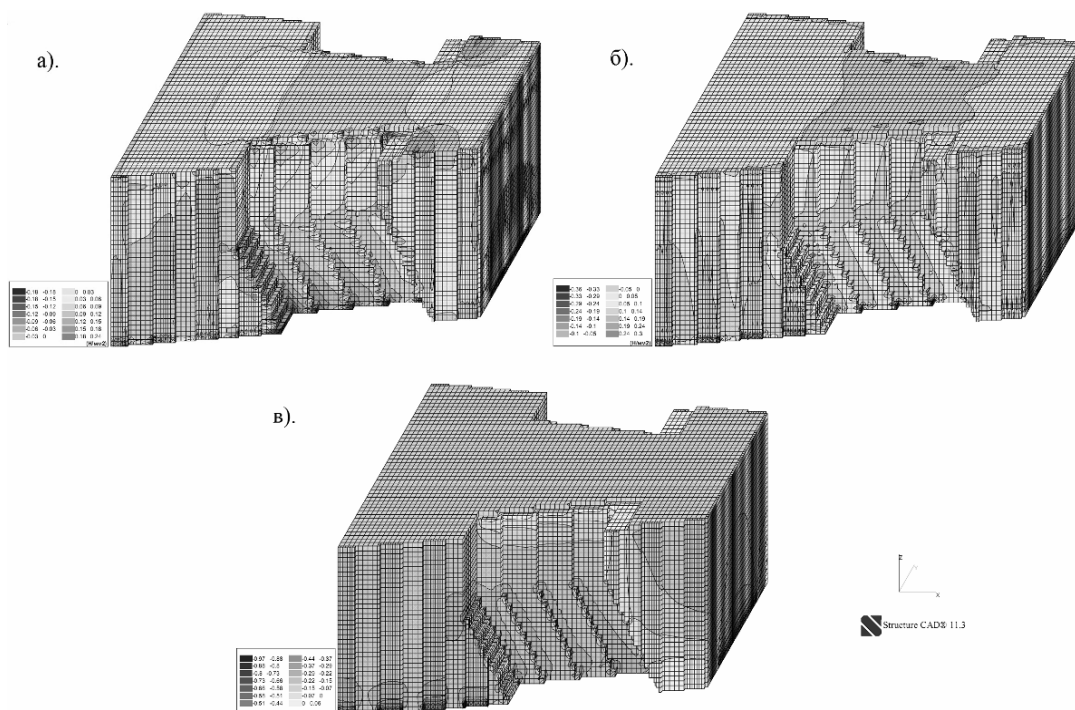


Рисунок 4 – Напряжения в блоке №1: а – по оси X; б – по оси Y; в – по оси Z

Таким образом, блок №1 по несущей способности удовлетворяет условиям прочности.

Выполним аналогичный расчет для блока №2. Для этого сформируем расчетную модель в ПВК SCAD по разработанному чертежу (рис. 5). Используем те же приемы и предположения, что и при создании блока 1 кроме нескольких моментов:

1. Вертикальная нагрузка, приложенная к верхней грани блока, будет интенсивностью 0,22 МПа, т.к. этот блок располагается ниже.

2. Упругие характеристики материала ниже лежащих рядов блоков учитываем согласно чертежам камеры УСТК для блока №2.

В результате получим модель, представленную на рисунке 6.

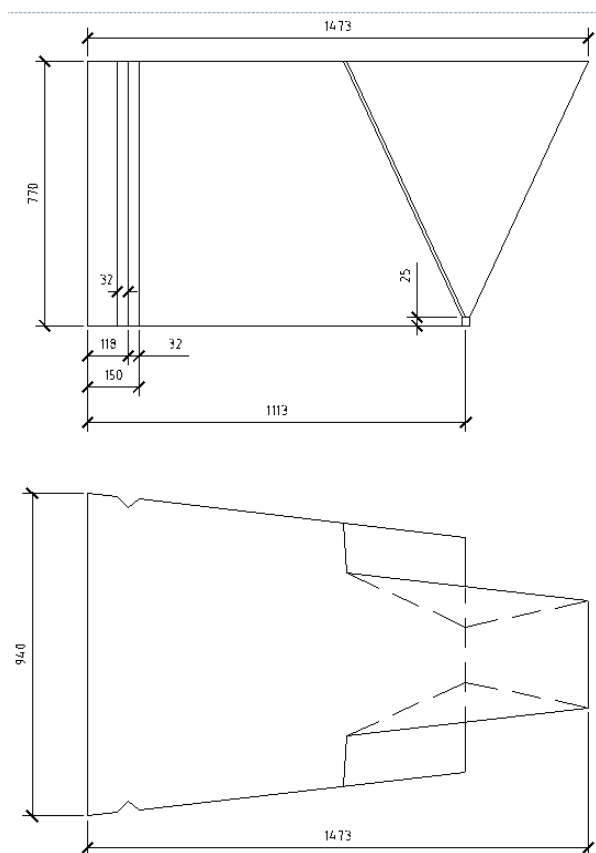


Рисунок 5 – Конструкция блока №2

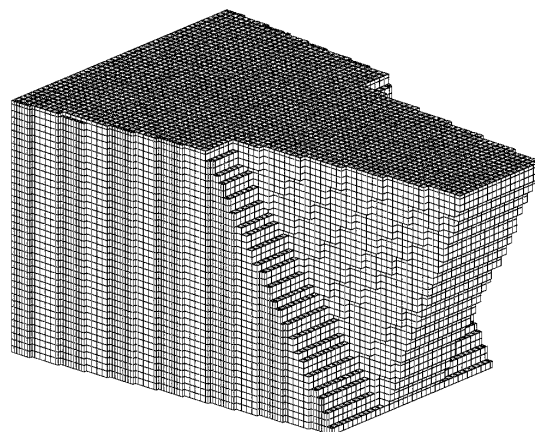


Рисунок 6 – Расчетная модель блока №2

После выполнения расчета в ПК SCAD был произведен анализ напряжений, возникающих в конструкции под действием приложенных усилий:

– максимальные растягивающие усилия возникают по оси X на внутренней грани косого хода со стороны рабочей камеры УСТК (рис. 7, а) и равны:

$$\sigma_+ = 0,38 \text{ МПа} < R_{bt} = 0,39 \text{ МПа};$$

– максимальные сжимающие напряжения возникают на опорной плоскости блока по оси Z (рис. 7, в) и равны:

$$\sigma_- = 1,27 \text{ МПа} < R_{b,tem} = 7,8 \text{ МПа}.$$

Таким образом, блок №2 по несущей способности удовлетворяет условиям прочности. Картины напряжений в массиве блока, полученные с помощью ПК SCAD, судя по реальной работе конструкций, имеют довольно достоверное распределение.

Первоначальный вариант зоны косых ходов (ГИПРОКОКС – черт. №928777 – узел блока 05-78) предусматривал дополнительную вертикальную нагрузку. При этом толщина стенки нижней консольной части блока была равна $b=119$ мм. Такие блоки были установлены на Череповецком металлургическом комбинате в 1986 г., и после первого разогрева УСТК в блоках на внутренней стороне косых ходов появились трещины, вызванные сложным напряженным состоянием блока: крутящие моменты, высокая температура и недостаточная жесткость блока.

В предлагаемой конструкции недостатки первоначального варианта устранены: отсутствует большой крутящий момент, увеличена жесткость сечения ($b=254$ мм) и нагрузка стала равномерно распределенная.

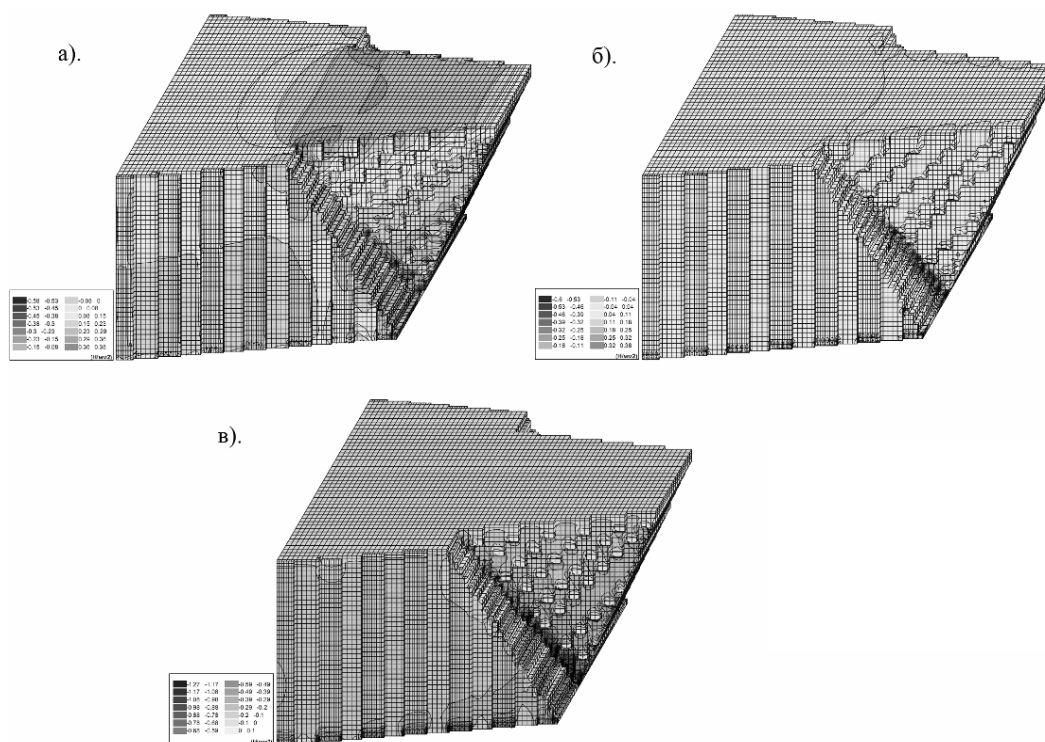


Рисунок 7 – Напряжения в блоке №2: а – по оси X; б – по оси Y; в – по оси Z

Кроме того, для изготовления блоков предлагается разработанный нами жаростойкий бетон класса В35 на высокоглиноземистом цементе, модифицированном комплексной добавкой, содержащей меламинаформальдегидный суперпластификатор МФ-АР и тонкомолотый шлак аллюмино-термического производства металлического хрома Ключевского завода ферросплавов с содержанием Al_2O_3 – 75,9%, Cr_2O_3 – 9,8%.

Физико-механические характеристики разработанного нами жаростойкого бетона использованы в приведенных выше расчетах, которые подтверждают возможность его использования для изготовления наиболее тяжело нагруженных блоков косоходной зоны УСТК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федосов, С.В. Свойства высокоглиноземистого цементного камня модифицированного тонкомолотыми добавками и суперпластификатором МФ-АР [Текст] / С.В. Федосов, Г.В. Серегин, К.И. Бурдун // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура» Вып. 10. – 2010. – №15(191). – С. 28-30.
2. Свод правил СП 27.13330.2011 Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. Актуализированная редакция СНиП 2.03.04-84 [Текст]. – Введ. 2011-05-20. – М.: ОАО «ЦПП», 2011.

Серегин Геннадий Васильевич

ГОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Кандидат технических наук, профессор кафедры «Строительное материаловедение и специальные технологии»
Тел.: +7 (4932) 54-13-51
E-mail: seryogin-g-v@yandex.ru

Бурдун Кирилл Игоревич

ГОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Аспирант кафедры «Строительное материаловедение и специальные технологии»
Тел.: +7 (4932) 59-28-21
E-mail: llirik7@yandex.ru

DESIGN OF BLOCKS OF COKE DRY-QUENCHING PLANT DIAGONAL ZONES

The article is concerned with evaluation of application of refractory concrete with high performance and fire resistant properties achieved through the use of specially elaborated high-alumina cement modified by melamine – formaldehyde superplastifier MF-AR and floured high refractory chrome-aluminous slag admixture. Below are given the calculation results of bearing capacity of blocks of coke dry-quenching plant diagonal zones subjected to complex stresses during maintenance due to adverse load combination: dead loads of upper structures and blocks, thermal effects. The calculation results confirm the high efficiency of the developed refractory concrete composition.

Keywords: refractory concrete, blocks of area DCQP with oblique hole, calculation of bearing capacity, hardware-software complex Structure CAD.

BIBLIOGRAPHY

1. Fedosov, S.V. Svojstva vysokoglinozemistogo cementnogo kamnja modifitsirovannogo tonkomolotymi do-bavkami i superplastifikatorom MF-AR [Tekst] / S.V. Fedosov, G.V. Seregin, K.I. Burdun // Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Stroitel'stvo i arhitektura» Vyp. 10. – 2010. – №15(191). – S. 28-30.
2. Svod pravil SP 27.13330.2011 Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii, prednaznachennye dlja raboty v uslovijah vozdejstviya povyshennyh i vysokih temperatur. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.03.04-84 [Tekst]. – Vved. 2011-05-20. – M.: OAO «СРР», 2011.

Seryogin Gennadiy Vasilevich

Ivanovo state architecture and construction university, Ivanovo

Candidate of technical science, associate professor of department «Constructional material science and special technology»

Ph.: +7 (4932) 54-13-51

E-mail: seryogin-g-v@yandex.ru

Burdun Kirill Igorevich

Ivanovo state architecture and construction university, Ivanovo

Post-graduate student of department «Constructional material science and special technology»

Ph.: +7 (4932) 59-28-21

E-mail: llikir7@yandex.ru

СТЕФАНЕНКО И.В.

ЭФФЕКТИВНЫЙ РОСТ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

Рассмотрено развитие производства радиационно-модифицированных материалов и изделий в мире. Представлена информация роста производства радиационно-модифицированного бетона, древесины, гипса, картона и др. материалов; дана информация о численности выданных патентов. Сокращение энергетических расходов и сырья послужило основной причиной развития новых технологий в использовании источников ионизирующих излучений и уменьшении расходов в производстве. Приведенные данные подтверждают экономическую эффективность технологических процессов и перспективу роста технологий. Основными стимулирующими факторами развития являются: возможность получения новых композиционных материалов с высокими физико-техническими параметрами и организация безотходного производства.

Ключевые слова: источники ионизирующих излучений, строительная индустрия, радиационная технология, радиационное модифицирование, бетонополимеры, гипсополимеры, модифицированная древесина.

Важным направлением в радиационно-химической технологии в период всей истории развития этой области является разработка научных и инженерных основ создания новых дешевых и экологически чистых строительных материалов и изделий [1-4]. Интенсивное развитие работ в данном направлении в нашей стране и за рубежом подтверждается опубликованными оригинальными и обзорными работами, а также материалами всероссийских и международных конференций [5, 6]. Такое развитие обусловлено положительными результатами исследований; промышленной конъюнктурой, определяемой технико-экономическими преимуществами производства и сбыта материалов.

В связи с повышенным интересом в последнее время к снижению гамма-фона в помещениях исследована группа радиационно-модифицированных материалов. В результате анализа установлено, что такие композиты имеют очень низкие (<30 Бк/кг) радиационные показатели [7]. Это обстоятельство позволило сделать вывод: такие материалы могут быть широко использованы в строительстве жилищ со значительно низким гамма-фоном или служить защитным средством в эксплуатируемых помещениях для нормализации радиационной обстановки.

В настоящее время с использованием радиационной технологии в мире производится продукции на сумму несколько миллиардов долларов в год при ежегодном темпе роста 15-20% [4]. Радиационная технология проникает в разные отрасли промышленности, среди них: очистка газовых выбросов, обработка целлюлозы, термическая переработка горючих ископаемых, стерилизация медицинских препаратов и кормов сельскохозяйственных животных, утилизация отходов промышленных предприятий и др. [6, 8, 9].

Развитие радиационной технологии в настоящее время обусловлено высокой энергетической эффективностью излучения, приводящей к существенному энергосбережению по сравнению с традиционными видами технологий, высокой проникающей способностью излучения, возможностью дозирования излучения при обработке материалов, отсутствием загрязнения облученной продукции, возможностью утилизации отходов производств и получения готовых изделий с очень низкой эффективной удельной активностью.

Значительное повышение цен на топливо в последнее время в мире привело к повышению цен на углеводородное топливо и электроэнергию по сравнению, например, с 1990 г. в 6 раз, что, естественно, отразилось на повышении цен на сырье для производства пластмасс и каучука. Эта ситуация послужила основной причиной новых тенденций в использовании

ионизирующих излучений: снижение расхода сырья, уменьшение отходов производства, высокая эффективность использования энергии и др.

Общая мощность радиационных установок в конце 1998 г. составила ~38 МВт, в том числе установок с ускорителями электронов – более 24 МВт. Следует подчеркнуть, что мощность каждой установки, вводимой в эксплуатацию, устанавливается все более высокая, а это влияет на производительность выпускаемой продукции и экономику процесса [9].

Радиационная технология получила широкое развитие по модифицированию обычных строительных материалов с синтетическими моно- или олигомерами с последующей радиационной полимеризацией их в пористой структуре. Работают γ -установки по модифицированию бетона, паркетной планки, оконных рам, полиэтиленовых сантехнических изделий (труб и радиаторов), манжет и пленок, искусственного мрамора и прессованных волокнистых материалов из биомассы растительного происхождения. Большой объем производства создан по выпуску поропластов, резиновых самослипающихся изоляционных лент.

Эффективными и технически оправданными являются процессы радиационного отверждения лакокрасочных покрытий на изделиях древесины, металла, пластмассы и др. материалов. Этот метод позволяет увеличить скорость процесса сушки, ликвидируя шлифовку и полировку, сократить производственные площади, расход сырья и материалов. Указанные процессы нашли широкое применение в различных странах мира [6, 8, 13].

То или иное развитие промышленности и техники характеризуется патентной активностью. Рассматривая перспективы развития затронутой проблемы, следует подчеркнуть, что рост числа выданных патентов за последние 10 лет вырос более чем на 6000. Анализируя тенденцию роста производства материалов, следует отметить, что интенсивность их изготовления значительно увеличилась с 70-х годов, а расширение способов, методов и устройств переработки материалов, как следствие активной изобретательской работы в этой области, с 80-х годов прошлого века выросло. Интерес к этим работам и объем производства продолжает нарастать, судя по увеличивающемуся объему издающейся информации.

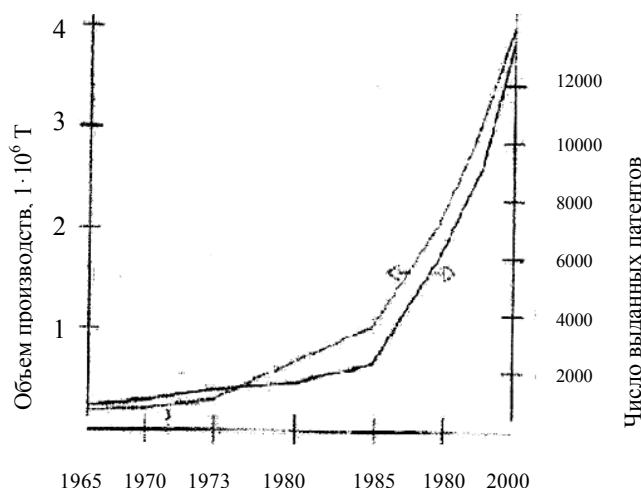


Рисунок 1 – Рост мирового объема производства модифицированных материалов и изделий и число выданных патентов

Прогнозирование развития и применение высоких технологий с источниками ионизирующих излучений в строительной индустрии и экологии показывает, что эта область в XXI веке будет быстро расти по сравнению с 1990 г. [10].

Основными стимулирующими факторами развития являются: возможность получения новых композиционных материалов с высокими физико-техническими параметрами и организация безотходного производства, широкого использования отходов промышленности; высокая коммерческая выгода; экологическая чистота (отсутствие загрязнения воздуха и воды); возможность организации производства практически в любых районах мира [10].

Реализации радиационных технологий в производстве строительных материалов и изделий

Материалы, изделия, процессы	Страны и годы реализации																			
	Австралия	Великобритания	Германия	Дания	Индия	Италия	Испания	Канада	Китай	Нидерланды	Польша	Россия	СНГ	США	Таиланд	Финляндия	Франция	Чехословакия	Швеция	Югославия
Радиационно-модифицированные древесно-полимерные материалы	1973	1966	1967	1964	1969	1971	1973	1967		1967	1967	1959	1959	1965	1967	1965	1967	1974		1967
Бетонно-полимерные материалы		1969	1970	1987		1974		1972	1989			1969		1965			1969		1972	1976
Отверждение лакокрасочных покрытий	1969	1969	1968	1970		1972	1970	1975	1990	1967	1969	1966	1966	1966	1972	1968	1967	1971		1972
Гипсополимерные материалы (искусственный мрамор)	1991	1994	1973		1994							1989	1990	1979			1987			1979
Волокнистые модифицированные материалы		1984	1983		1992			1997			1996	1986	1985	1986		1985	1983			1979
Полиэтиленовые термоусаживаемые трубки, манжеты, муфты и матрицы для формирования бетона		1969	1972	1971	1969	1974	1973	1968		1975	1976	1963	1964	1965	1968	1969	1970	1974	1974	1972
Сантехнические изделия		1974	1977			1979			1993			1975		1971			1976			1978
Теплоизоляционные материалы		1964	1971	1978	1978		1974	1978		1976		1981	1984	1978	1980	1979	1972	1979	1972	1965
Резиновые ленты и термостойкие материалы	1974	1979	1968	1978	1970	1969		1968			1977	1965		1967			1970	1974	1976	1974
Радиационно-модифицированные бумажные материалы		1975	1978					1978		1976			1972	1973		1977	1977			1974

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов, Ю.Д. Основы радиационной технологии в производстве строительных материалов: Учебное пособие [Текст] / Ю.Д. Козлов, А.В. Путилов. – М.: Издательский дом «Руда и металлы». 2001. – 533 с.
2. Указатель отечественных и зарубежных материалов. Сер. Радиационная техника. – М.: ЦНИИатоминформ, 1984-2000, – 628 с.
3. Стефаненко, И.В. Высокие технологии в экологии и при переработке отходов в эффективные строительные материалы [Текст] / И.В. Стефаненко. – Волгоград, 2005. – 142 с.
4. Стефаненко, И.В. Радиационные установки для производства технологических процессов [Текст] / И.В. Стефаненко. – Волгоград: Вестник ВолГАСУ. Серия Естественные науки. – 2007. – №6 (23). – С. 127-163.
5. Transactions of the Third International Meeting on Radiation Processing // Radiation Physics and Chemistry. – 1981. – Vol. 1-2. – №1, 2; Vol. 18. – №3-6.
6. Доклады четвертого Всесоюзного совещания по применению ускорителей заряженных частиц в народном хозяйстве (Ленинград, 28-30 сентября 1982 г.). – Л.: НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, 1982. – Т. 1-4. – 1045 с.
7. Сидельникова, О.П. Радиационный контроль в строительной индустрии [Текст] / О.П. Сидельникова. – М.: АСВ, 2002. – 207 с.
8. 7-th International Meeting on Radiation Processing // Invited Papers. – April 23-28. – Center, Netherlands, 1989.
9. Стефаненко, И.В. Перспективы развития высоких технологий в строительной области и экологии в XXI веке [Текст] / И.В. Стефаненко. – Волгоград: Вестник ВолГАСУ. Серия Строительство и архитектура. – 2009. – №14 (33). – С. 108-111.
10. Козлов, Ю.Д. Высокие технологии с использованием источников ионизирующих излучений в промышленности. Учебное пособие [Текст] / Ю.Д. Козлов, И.В. Стефаненко, С.В. Ермолаев и др. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 715 с.

Стефаненко Игорь Владимирович

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, г. Волгоград

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы и специальные технологии»

STEFANENKO I.V.

EFFECTIVE DEVELOPMENT OF HIGH TECHNOLOGIES IN BUILDING INDUSTRY

The worldwide development of radiation modified materials and products has been viewed. The information about increase in production of radiation modified concrete, wood, gypsum, cardboard and etc. is presented; the data about the number of issued patents is given. The reduction of energetic and raw material spending has caused the development of new technologies in usage of ionizing radiation sources and decrease of manufacturing costs. These datum confirm the economic effectiveness of technological processes and their prospect development. The main factors that stimulate the development are the possibility of getting new composing materials with high physicotecnical parameters and the organization of non-waste production.

Keywords: ionizing emission sources, building industry, radiation technology, radiation modification, polymer concrete, polymer gypsum, modified wood.

BIBLIOGRAPHY

1. Kozlov, Ju.D. Osnovy radiacionnoj tehnologii v proizvodstve stroitel'nyh materialov: Uchebnoe posobie [Tekst] / Ju.D. Kozlov, A.V. Putilov. – M.: Izdatel'skij dom «Ruda i metally». 2001. – 533 s.
2. Ukazatel' otechestvennyh i zarubezhnyh materialov. Ser. Radiacionnaja tehnika. – M.: CNIIatominform, 1984-2000, – 628 s.
3. Stefanenko, I.V. Vysokie tehnologii v jekologii i pri pererabotke othodov v jeffektivnye stroitel'nye materialy [Tekst] / I.V. Stefanenko. – Volgograd, 2005. – 142 s.
4. Stefanenko, I.V. Radiacionnye ustanovki dlja proizvodstva tehnologicheskikh processov [Tekst] / I.V. Stefanenko. – Volgograd: Vestnik VolgGASU. Serija Estestvennye nauki. – 2007. – №6 (23). – S. 127-163.
5. Transactions of the Third International Meeting on Radiation Processing // Radiation Physics and Chemistry. – 1981. – Vol. 1-2. – №1, 2; Vol. 18. – №3-6.
6. Doklady chetvertogo Vsesojuznogo soveshchanija po primeneniju uskoritelej zarjzhennyh chastic v narodnom hozjajstve (Leningrad, 28-30 sentjabrja 1982 g.). – L.: NIIJeFA im. D.V. Efremova, 1982. – T. 1-4. – 1045 s.
7. Sidel'nikova, O.P. Radiacionnyj kontrol' v stroitel'noj industrii [Tekst] / O.P. Sedel'nikova. – M.: ASV, 2002. – 207 s.
8. 7-th International Meeting on Radiation Processing // Invited Papers. – April 23-28. – Center, Netherlands, 1989.
9. Stefanenko, I.V. Perspektivy razvitija vysokih tehnologij v stroitel'noj oblasti i jekologii v HHI veke [Tekst] / I.V. Stefanenko. – Volgograd: Vestnik VolgGASU. Serija Stroitel'stvo i arhitektura. – 2009. – №14 (33). – S. 108-111.
10. Kozlov, Ju.D. Vysokie tehnologii s ispol'zovaniem istochnikov ionizirujuvix izluchenij v promyshlennosti. Uchebnoe posobie [Tekst] / Ju.D. Kozlov, I.V. Stefanenko, S.V. Ermolaev i dr. – M.: Jenergoatomizdat, 2006. – 715 s.

Stefanenko Igor Vladimirovich

Volgograd state architecturally-building university, Volgograd

Candidate of technical science, senior lecturer of department «Building materials and special technologies»

ХРИСТОФОРОВ А.И., ХРИСТОФОРОВА И.А., ПИКАЛОВ Е.С.

УЛУЧШЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по понижению чувствительности к сушке и общей объемной усадке керамического материала на основе сырья с низким содержанием оксида алюминия (менее 13%) путем введения в состав сырьевой смеси модифицирующих добавок. Также показано влияние технологических параметров (максимальных температур сушки и обжига) на керамические свойства. Кроме того, представлена взаимосвязь между керамическими свойствами материала и его физико-механическими характеристиками. Приведено обоснование экспериментальных данных, позволяющих получить керамический кирпич высокого качества по методу полусухого прессования.

Ключевые слова: керамические свойства, шихта, поверхностно активные вещества, стеклобой, формовочная влажность, коэффициент чувствительности к сушке, общая объемная усадка.

В последнее время научные исследования в области повышения качества строительных материалов и изделий направлены на расширение сырьевой базы, повышение качества сырьевых материалов путем их предварительной подготовки, применение модифицирующих добавок и изменения в технологических режимах производства [1-3].

Разработка технологии получения керамического кирпича заключается в подборе состава шихты и технологических параметров, обеспечивающих производство бездефектных изделий высокого качества. Для стеновой керамики основное значение имеют прочностные характеристики, а поэтому особое внимание при проведении исследований уделялось получению их максимальных значений [3-5].

При этом учитывалось, что свойства готовых изделий зависят от режима обжига и свойств полуфабриката, которые в свою очередь определяются формовочной влажностью и температурой сушки, а также такими керамическими свойствами сырьевых материалов, как чувствительность к сушке и усадка [3, 6].

Исследования физико-механических свойств проводились путем измерения плотности, прочности при сжатии, открытой пористости и водопоглощения, а также при контроле внешнего вида образцов. Определение свойств материала проводилось в соответствии со стандартными методиками, приведенными в ГОСТ 7025-91 «Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости», ГОСТ 8462-75 «Прочность на сжатие стеновых и облицовочных материалов» и ГОСТ 2409-80 «Методы определения пористости стеновых и облицовочных материалов».

Технологические режимы и необходимость введения в состав шихты модифицирующих добавок определяются свойствами глины. Поэтому исходным пунктом экспериментальных исследований являлось изучение керамических свойств шихты на основе исследуемой глины суворотского месторождения Владимирской области. Глина содержит следующие оксиды (содержание в масс. %): 64,0-71,0 SiO_2 ; 8,7-13,35 Al_2O_3 ; 4,9-6,8 Fe_2O_3 ; 0,7-4,9 CaO ; 0,7-2,7 MgO ; 1,9-2,9 K_2O ; 0,2-1,2 Na_2O . Карьерная влажность глины составляла 19-21,5%, поэтому предусматривалась предварительная сушка глины до влажности не более 1%.

Керамические свойства глины заключаются в способности материала к формованию и сохранению формы и размеров при сушке и обжиге без возникновения трещин [3, 7].

Эти параметры зависят не только от состава глины, но и находится в прямой зависимости от влажности керамической массы. Для определения формовочной влажности значения других параметров технологического режима получения образцов для исключения их влияния на свойства были стабилизированы: удельное давление прессования было принято

равным 15 МПа, сушка проводилась при максимальной температуре 60°C в течение 4 часов, а температура обжига составляла 1000°C.

Для проведения исследований отбирались образцы, сохранявшие без деформации приданную им форму после снятия нагрузки при прессовании. Таким образом, были определены граничные значения формовочной влажности: от 5 до 20 масс. %.

Результаты проведенных испытаний по определению физико-механических характеристик образцов при различных значениях формовочной влажности сырца представлены на рисунке 1.

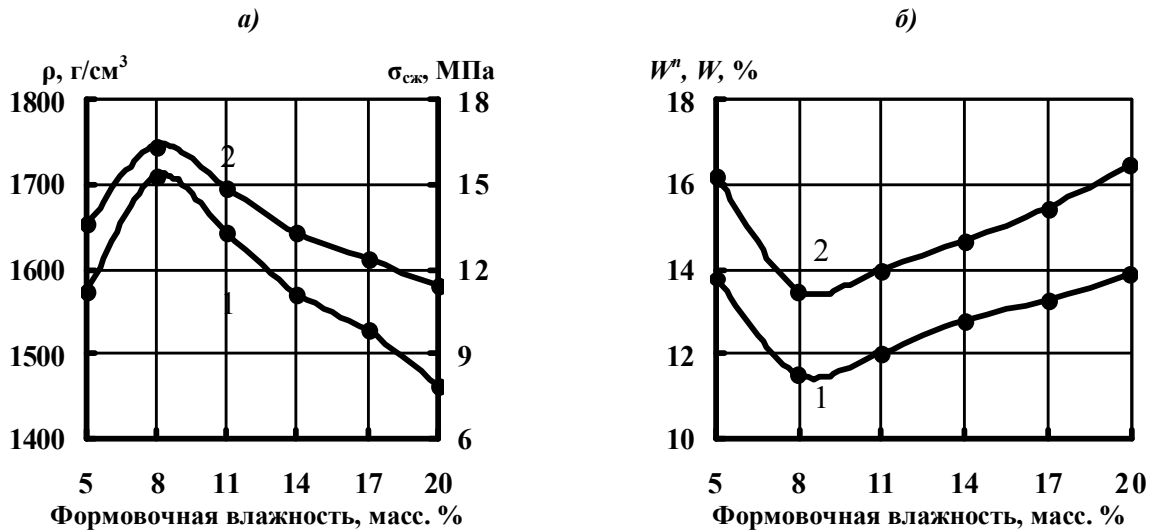


Рисунок 1 – Зависимость физико-механических свойств строительной керамики от формовочной влажности сырца на основе кислой глины:

а) 1 – плотность (ρ , г/см³); 2 – прочность при сжатии ($\sigma_{сж}$, МПа);
б) 1 – открытая пористость (W , %); 2 – водопоглощение (W_n , %).

На основании данных, представленных на рисунке 1, можно сделать вывод о средних показателях физико-механических характеристик керамики, полученной на основе исследуемой кислой глины. Наибольшими прочностными характеристиками обладает кирпич, формовочная влажность сырца которого находится на уровне от 7 до 9 масс. %. При меньшей влажности сырец не обладает достаточно высокими прочностными характеристиками из-за недостаточной связи между частицами материала, а повышение влажности приводит к растрескиванию образцов при термической обработке, что понижает физико-механические свойства керамики.

Поскольку значения физико-механических характеристик материала предопределяются керамическими свойствами, которыми он обладает на протяжении всего технологического цикла, для образцов керамики, полученных на основе тех же составов шихты, были также определены коэффициент чувствительности к сушке и общая объемная усадка. Определение этих характеристик производилось в соответствии с методиками ГОСТ 5499-59 «Глинистое сырье для керамической промышленности. Методы испытаний». Полученные значения керамических свойств материала представлены на рисунке 2.

Таким образом, при высоком содержании влаги (20 масс. %) глина обладала средней чувствительностью к сушке (коэффициент чувствительности $k_q=1,1$) и высокой общей объемной усадкой ($V_{общ} = 22,8\%$). При снижении содержания влаги до 8 масс. % глина приобрела малую чувствительность к сушке ($k_q=0,5$) и небольшую объемную усадку ($V_{общ} = 8,2\%$).

Для достижения высоких прочностных характеристик материала необходимо было улучшить его керамические свойства. Для этих целей в состав шихты на основе 100 масс. ч. глины и 8 масс. ч. воды были введены модифицирующие добавки: олеат натрия $C_{17}H_{35}COONa$ (поверхностно активное вещество – ПАВ) и бой тарного зеленого стекла. В

состав стекольного боя входили следующие оксиды (в масс. %): 66,7-68,7 SiO_2 ; 4,5-5,5 Al_2O_3 ; 1,3-1,5 Fe_2O_3 ; 5,75-6,25 CaO ; 3,75-4,25 MgO ; 14,25-14,75 Na_2O .

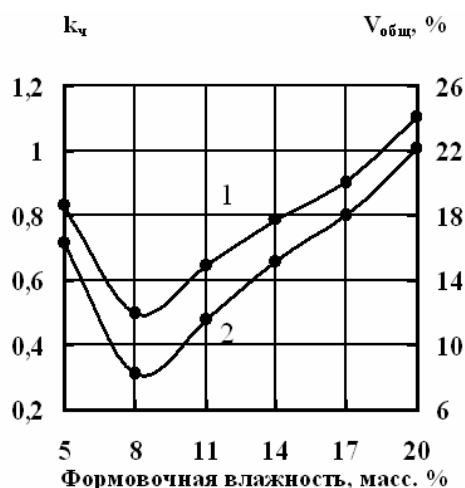


Рисунок 2 – Зависимость керамических свойств строительной керамики от формовочной влажности сырца на основе кислой глины: 1 – коэффициент чувствительности к сушке ($k_{\text{ч}}$); 2 – общая объемная усадка ($V_{\text{общ}}, \%$)

Результаты исследований представлены на рисунке 3.

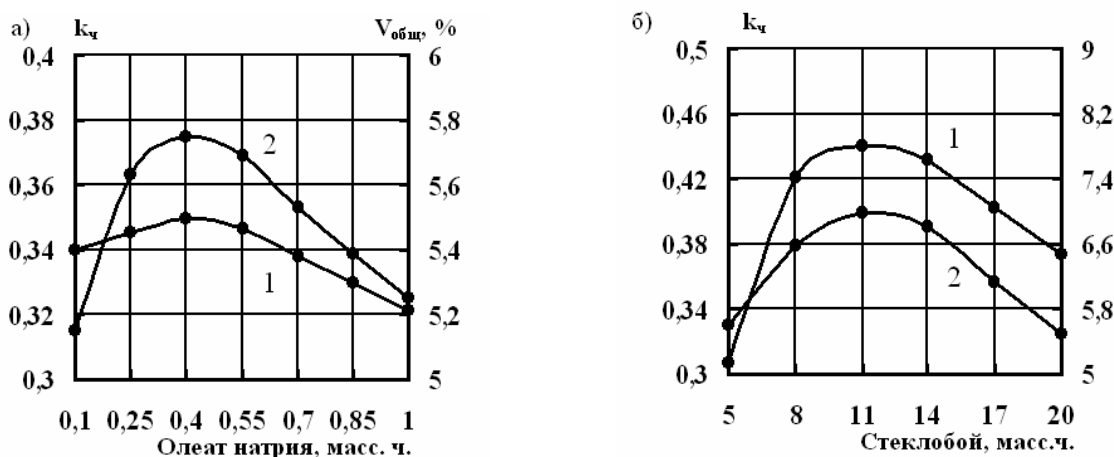


Рисунок 3 – Зависимость керамических свойств строительной керамики от содержания модифицирующих добавок: 1 – коэффициент чувствительности к сушке ($k_{\text{ч}}$); 2 – общая объемная усадка ($V_{\text{общ}}, \%$)

Как следует из данных, представленных на рисунке 3, введение добавок улучшает керамические свойства материала. При этом олеат натрия в количестве 0,2-0,5 масс. ч. обладает большим эффектом ($k_{\text{ч}}=0,35$ и $V_{\text{общ}}=5,75\%$), чем стеклобой в количестве 10-13 масс. ч. ($k_{\text{ч}}=0,44$ и $V_{\text{общ}}=7\%$). Это связано с тем, что стеклобой оказывает влияние на свойства строительной керамики в основном на завершающей стадии технологического цикла – при проведении обжига.

Влияние стеклобоя на чувствительность материала к сушке и воздушную объемную усадку происходит за счет понижения внутренних деформаций, возникающих в материале при сушке. Это объясняется небольшой усадкой самого стеклобоя. При проведении обжига керамического кирпича, содержащего стеклобой, происходит образование большого количества стекловидной фазы, которая заполняет зазоры между частицами и облегчает перемещение частиц, приводящее к уплотнению заготовки и возникновению огневой усадки изделия [8].

Олеат натрия понижает поверхностное натяжение влаги, что способствует образованию пленок жидкости на поверхности частиц. Благодаря этому влага равномерно распределяется в объеме заготовки, что уменьшает градиент распределения влажности при сушке. Кроме того, жидкость адсорбируется на поверхности частиц материала, облегчая, по аналогии со стеклосилом, перемещение частиц и приводя к уплотнению заготовки при прессовании и уменьшению внутренних усадочных напряжений при сушке. Это приводит к уменьшению чувствительности к сушке керамического материала [9].

Как известно усадка изделия происходит до определенного предела – пока частицы не придут во взаимное соприкосновение, которое сопровождается трением между ними. Когда трение достигнет такой величины, которая превосходит силы поверхностного натяжения влаги, дальнейшее уменьшение размеров изделия прекращается, хотя в глине удерживается определенное количество воды (вода пор). После этого испарение влаги продолжается за счет отступления менисков по капиллярам вглубь материала. Следовательно, при понижении поверхностного натяжения влаги за счет введения в состав шихты олеата натрия происходит снижение воздушной усадки изделий. Также повышается проникающая способность влаги, что способствует удалению поровой воды [3, 7].

При проведении обжига выгорает органическая составляющая олеата натрия с выделением ионов Na^+ , что приводит к образованию незначительного количества стекловидной фазы на ранних стадиях обжига ($200\text{--}400^\circ\text{C}$) [8].

Для получения прочной стеновой керамики также было исследовано влияния температуры сушки и обжига на чувствительность материала к сушке и общую объемную усадку. Результаты проведенных экспериментов представлены на рисунке 4.

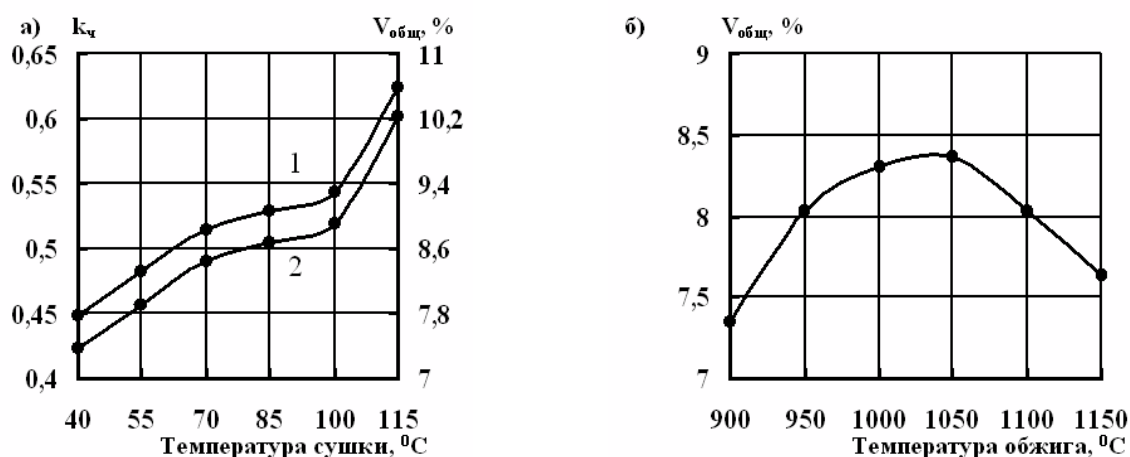


Рисунок 4 – Зависимость керамических свойств строительной керамики от технологических параметров: 1 – коэффициент чувствительности к сушке ($k_{\text{ч}}$); 2 – общая объемная усадка ($V_{\text{общ}}, \%$)

В соответствии с данными, представленными на рисунке 4, для получения высоких значений прочностных характеристик необходимо проводить сушку при максимальной температуре 90°C , а обжиг при максимальной температуре 1050°C . Это приводит к увеличению усадки изделий, что обеспечивает их высокую плотность. Уменьшение усадки изделий при температурах обжига свыше 1050°C происходит за счет увеличения объема заготовок из-за возникающих внутренних напряжений, приводящих также к трещинообразованию в объеме керамического кирпича.

При этом происходит понижение способности материала противостоять внутренним напряжениям (без трещин и деформаций), развивающимся в результате удаления воды и при усадочных явлениях. Это может привести к понижению прочностных характеристик готовых изделий [10].

Для оценки влияния модификаторов и технологических режимов на качество керамического кирпича были измерены физико-механические характеристики керамического кирпича на основе исследуемых составов при выбранных значениях температур для проведения сушки и обжига, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства керамического кирпича, изготовленного на основе исследуемых составов

Олеат натрия, масс.ч	Стеклобой, масс.ч.	Прочность при сжатии, МПа	Плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %	Пористость, %
-	-	15,1 ^{±0,4}	1651 ^{±22}	13,9 ^{±0,1}	13,0 ^{±0,1}
0,5	-	16,4 ^{±0,4}	1711 ^{±22}	13,5 ^{±0,1}	12,5 ^{±0,1}
-	10	18,8 ^{±0,4}	1777 ^{±22}	12,7 ^{±0,1}	11,7 ^{±0,1}
0,5	10	19,7 ^{±0,4}	1746 ^{±22}	12,4 ^{±0,1}	10,6 ^{±0,1}

Как следует из полученных экспериментальных данных, добавки позволяют повысить прочностные характеристики материала. Также эти данные подтверждают возможность совместного применения олеата натрия и стеклобоя для модификации физико-механических свойств керамического кирпича на основе исследуемой глины. Так как рассматриваемые характеристики зависят от керамических свойств материала, было исследовано влияние модификаторов на чувствительность к сушке и общую объемную усадку заготовок при различных температурах сушки и обжига. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Керамические свойства керамического кирпича, изготовленного на основе исследуемых составов

Олеат натрия, масс. ч	Стеклобой, масс. ч.	Температура сушки = 60°C Температура обжига = 1000°C		Температура сушки = 90°C Температура обжига = 1050°C	
		Коэффициент чувствительности к сушке	Общая объемная усадка, %	Коэффициент чувствительности к сушке	Общая объемная усадка, %
-	-	0,50 ^{±0,02}	8,20 ^{±0,05}	0,26 ^{±0,02}	8,50 ^{±0,05}
0,5	-	0,35 ^{±0,02}	5,75 ^{±0,05}	0,19 ^{±0,02}	7,05 ^{±0,05}
-	10	0,44 ^{±0,02}	7,00 ^{±0,05}	0,18 ^{±0,02}	4,65 ^{±0,05}
0,5	10	0,42 ^{±0,02}	6,25 ^{±0,05}	0,18 ^{±0,02}	6,60 ^{±0,05}

Таким образом, проводя сушку и обжиг в соответствии с выбранными максимальными температурами и вводя в состав шихты модифицирующие добавки, можно достичь высоких значений прочностных характеристик керамического кирпича за счет больших степеней уплотнения. Одновременно указанные добавки препятствуют возникновению трещин и деформаций в объеме керамического кирпича и повышают качество готовых изделий за счет снижения чувствительности керамики к сушке и уменьшения возникающих в материале внутренних напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ястребова С.А. Зависимость свойств керамических изделий от состава и технологических параметров [Текст] / С.А. Ястребова, А.И. Христофоров // Огнеупоры и техническая керамика. – 2006. – №9. – С. 32-36.
2. Новопашин, А.А. Улучшение сушильных свойств керамического кирпича [Текст] / А.А. Новопашин // Строительные материалы. – 1973. – №5. – С. 12-13.
3. Книгина, Г.И. Улучшение технологических свойств суглинков (для производства строительного кирпича) [Текст] / Г.И. Книгина. – Новосибирск: Зап.-сиб. кн. изд-во, 1966. – 105 с.

4. Худяков, В.А. Современные композиционные строительные материалы [Текст] / В.А. Худяков, А.П. Прошин, С.Н. Кислицына. – М.: Ассоциации строительных вузов. – 2007. – 220 с.
5. Салахов А.М. Производство строительной керамики [Текст] / А.М. Салахов, В.И. Ремизникова, О.В. Спирина, А.Ю. Мочалов. – Казань: Центр инновационных технологий, 2003. – 292 с.
6. Христофоров, А.И. Влияние влажности и удельного давления прессования на свойства керамического кирпича [Текст] / А.И. Христофоров, С.А. Ястребова, Т.Л. Белоусова // Итоги строительной науки: Материалы 4 МНТК. – Владимир: ВлГУ, 2005. – С.109 – 111.
7. Книгина, Г.И. Лабораторные работы по технологии строительной керамики и легких пористых заполнителей. Учеб. пособие для вузов [Текст] / Г.И. Книгина, Э.Н. Вершинина. – М.: Высшая школа, 1972 – 200 с.
8. Стрелов, К.К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / Учебное пособие для вузов. 2-е издание, переработанное и дополненное [Текст] / К.К. Стрелов, И.Д. Кашеев. – М.: Металлургия, 1996. – 608 с.
9. Августинник, А.И. Керамика [Текст] / А.И. Августинник. – М.: Промстройиздат, 1957. – 484 с.
10. Носова, З.А. Чувствительность глин к сушке [Текст] / З.А. Носова. – М.: Гидрометеиздат, 1946 – 49 с.

Христофоров Александр Иванович

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Химическая технология стекла и керамики»
Тел.: +7 920 929 01 82
E-mail: khristoforov@mail.ru

Христофорова Ирина Александровна

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир
Доктор технических наук, профессор кафедры «Химическая технология стекла и керамики»
Тел.: +7 910 774 54 26
E-mail: khristoforova-i@mail.ru

Пикалов Евгений Сергеевич

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир
Аспирант кафедры «Химическая технология стекла и керамики»
Тел.: +7 904 590 72 84

KHRISTOFOROV A.I., KHRISTOFOROVA I.A., PIKALOV E.S.

**MODIFIED – WALL CERAMICS WITH IMPROVED
CERAMIC PROPERTIES**

In the article suggest the results of experimental studies on the decrease of sensitivity to drying and the total volumetric shrinkage of ceramic materials based on raw materials with low content of aluminum oxide (less than 13%) by the introduction of the raw mix modifying agents. Also shows the influence of technological parameters (maximum temperature of drying and annealing) at ceramic properties. In addition, the ceramics shows the relationship between material properties and its physical and mechanical properties. The substantiation of the experimental data obtaining a ceramic brick of high quality by the method of dry pressing.

Keywords: ceramic properties, mix, surface active substances, waste of glass, molding moisture content, coefficient of sensitivity to drying, the total volume shrinkage.

BIBLIOGRAPHY

1. Jastrebova S.A. Zavisimost' svojstv keramicheskikh izdelij ot sostava i tehnologicheskikh parametrov [Tekst] / S.A. Jastrebova, A.I. Hristoforov // Ogneupory i tehlicheskaja keramika. – 2006. – №9. – S. 32-36.
2. Novopashin, A.A. Uluchshenie sushil'nyh svojstv keramicheskogo kirpicha [Tekst] / A.A. Novopashin // Stroitel'nye materialy. – 1973. – №5. – S. 12-13.
3. Knigina, G.I. Uluchshenie tehnologicheskikh svojstv suglinkov (dlja proizvodstva stroitel'nogo kirpicha) [Tekst] / G.I. Knigina. – Novosibirsk: Zap.-sib. kn. izd-vo, 1966. – 105 s.

4. Hudjakov, V.A. Sovremennye kompozicionnye stroitel'nye materialy [Tekst] / V.A. Hudjakov, A.P. Proshin, S.N. Kislicyna. – M.: Associacii stroitel'nyh vuzov. – 2007. – 220 s.
5. Salahov A.M. Proizvodstvo stroitel'noj keramiki [Tekst] / A.M. Salahov, V.I. Remiznikova, O.V. Spirina, A.Ju. Mochalov. – Kazan': Centr innovacionnyh tehnologij, 2003. – 292 s.
6. Hristoforov, A.I. Vlijanie vlazhnosti i udel'nogo davlenija pressovanija na svojstva keramicheskogo kirpicha [Tekst] / A.I. Hristoforov, S.A. Jastrebova, T.L. Belousova // Itogi stroitel'noj nauki: Materialy 4 MNTK. – Vladimir: VIGU, 2005. – S.109 – 111.
7. Knigina, G.I. Laboratornye raboty po tehnologii stroitel'noj keramiki i legkih poristyh zapolnitelej. Ucheb. posobie dlja vuzov [Tekst] / G.I. Knigina, Je.N. Vershinina. – M.: Vysshaja shkola, 1972 – 200 s.
8. Strelov, K.K. Teoreticheskie osnovy tehnologii ognepornyh materialov / Uchebnoe posobie dlja vuzov. 2-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe [Tekst] / K.K. Strelov, I.D. Kaweev. – M.: Metallurgija, 1996. – 608 s.
9. Avgustinnik, A.I. Keramika [Tekst] / A.I. Avgustinnik. – M.: Promstrojizdat, 1957. – 484 s.
10. Nosova, Z.A. Chuvstvitel'nost' glin k sushke [Tekst] / Z.A. Nosova. – M.: Gidrometeoizdat, 1946 – 49 s.

Khristoforov Alexander Ivanovich

Vladimir state university of A.G. and N. G. Stoletovyh, Vladimir

Doctor of technical science, professor, manager department «Chemical technology has flown down also ceramics»

Ph.: +7 920 929 01 82

E-mail: khristoforov@mail.ru

Khristoforova Irina Aleksandrovna

Vladimir state university of A.G. and N. G. Stoletovyh, Vladimir

Doctor of technical science, professor of department «The Chemical technology has flown down also ceramics»

Ph.: +7 910 774 54 26

E-mail: khristoforova-i@mail.ru

Pikalov Evgenie Sergeevich

Vladimir state university of A.G. and N.G. Stoletovyh, Vladimir

The post-graduate student of department «The Chemical technology has flown down also ceramics»

Ph.: +7 904-590-72-84

ENZFELDER K., KADOLPH A., WACH M.

«IKTRU – INTEGRATION DER IKT AN TECHNISCHEN HOCHSCHULEN RUSSLANDS»

Seit Januar 2009 fördert die Europäische Union das Projekt „IKTRu - Integration der IKT an Technischen Hochschulen Russlands“. Es handelt sich dabei um ein Gemeinsames Projekt im Rahmen des TEMPUS IV Programms. Ziel des Projekts ist die Implementierung moderner IKT (Informations- und Kommunikations-Technologie) Infrastruktur sowie moderne Methoden der Wissensvermittlung in der Hochschullandschaft Russlands. Die Projektlaufzeit beträgt drei Jahre. Um die Ausbildung von Bauingenieuren auf das Anforderungsprofil der modernen Bauwirtschaft auszurichten, wurden Module im Bereich von CAD-, CAE- und Managementsoftware in die universitären Lehrpläne integriert. Ergänzt wurde dieser Prozess, durch die Installation einer modernen E-Learning Infrastruktur. Im Projekt arbeiten vier Universitäten der Europäischen Union und drei Universitäten aus Russland zusammen sowie ein beratendes Gremium aus individuellen Experten.

Zu den russischen Partneruniversitäten gehören die Staatliche Universität für Architektur und Bauwesen Woronesch, die Staatliche Technische Universität Orjol und die Südrussische Staatliche Technische Universität Nowotscherkassk. Zu den Universitäten aus den Partnerländern der EU gehören die TU Dresden, die Bauhaus-Universität Weimar, die Universität für Bodenkultur Wien und die Universität Maribor. Des Weiteren bringt sich das Ministerium für Bildung und Wissenschaft der Russischen Föderation in das Projekt ein.

Der Arbeitsplan sieht 9 Arbeitspakete (AP) zur Etablierung moderner Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) Infrastruktur sowie moderner Methoden der Wissensvermittlung (E-Learning) in der Hochschullandschaft Russlands vor.

Das erste Arbeitspaket (AP 1) bezieht sich auf die Analyse des Stands bzw. Standards im Bereich IKT an europäischen Hochschulen sowie die Ermittlung der Gegebenheiten und des Bedarfs in Russland. Erster offizieller Termin war die Eröffnungskonferenz im April 2009 in Woronesch. An diesem Treffen nahmen der Koordinator des Projekts, die Vertreter aller Partneruniversitäten, eine Vertreterin des Nationalen Tempus Büros (NTO) aus Moskau sowie die Experten teil. Neben offenen Fragen zum Projekt, wurden die zu erfüllenden Aufgaben besprochen. Ein wichtiger Aspekt dieser Veranstaltung war, neben den projektspezifischen Fragestellungen, das persönliche Kennenlernen aller Projektpartner. Die Analyse zum Einsatz von IKT an den russischen Universitäten sowie in der russischen Baupraxis basiert auf Fragebögen sowie einer Online-Befragung. Die Adressaten waren russische Hochschullehrer, russische Bauunternehmen sowie russische Verwaltungsangestellte aus dem Bauwesen. Diese Daten gaben Aufschluss über den konkreten Bedarf an IKT insbesondere in der Ausbildung. Parallel erfolgte die Analyse des Einsatzes von IKT an den europäischen Partneruniversitäten. Insbesondere wurden dazu Lehrveranstaltungen im Bauwesen analysiert. Thematische wurde im Speziellen zwischen dem Einsatz von E-Learning und dem allgemeinen Einsatz von IKT unterschieden.

Im Mai 2009 wurden Hospitationen von Lehrveranstaltungen an der TU Dresden durch die Vertreter der russischen Hochschulen durchgeführt. Im Vorfeld entschlossen sich die Projektpartner neben der gesetzten Komponente „Baumanagement“ im Lehrbereich des Baubetriebswesens, die Komponenten CAE/CAD durch Lehrplanerweiterungen im Bereich Straßenplanung abzudecken. Es wurden Lehrveranstaltungen insbesondere im Bereich der Softwareausbildung besucht und hospitiert. Im Oktober 2009 wurden Hospitationen sowie der Workshop zum IKT Einsatz in Nowotscherkassk durchgeführt. In Russland werden in der Hochschulausbildung zentral-gesteuerte Lehrpläne verwendet, wodurch die Lehrveranstaltungen vergleichbar sind. Die Projektpartner entschlossen sich die SSTU in Nowotscherkassk zu besuchen und dort in Lehrveranstaltungen im Bereich Straßenplanung und Baumanagement zu hospitieren. Parallel wurde ein Workshop abgehalten. In verschiedenen Arbeitsgruppen (Straßenplanung, Baumanagement, E-Learning) im Projekt wurde das weitere Vorgehen diskutiert sowie die Ergebnisse der Bestands- und Bedarfsanalyse ausgewertet. Dieser Workshop diente vor allem der Darstellung von Möglichkeiten und sinnvollen Konkretisierung, wie IuK-Technologien aus den europäischen Partnerländern an den russischen Universitäten eingeführt werden können. Auf der Basis der Umfrage- und Analyseergebnisse wurde als E-Learning-Plattform OLAT ausgewählt. Im Bereich CAD/CAE wird in der Straßenplanung die Software CREDO in Verbindung mit AutoCAD verwendet. Im Bereich Baumanagement kommen die Software GRAND SMETA sowie MS Project zum Einsatz. Mit der Software CREDO können Trassierung in der Straßenplanung geplant werden. GRAND SMETA ermöglicht die Erstellung von Kostenermittlungen und die Kalkulation von Baupreisen, aus Sicht des Bauherrn und aus Sicht des Bauunternehmens. Das Programm MS Project wird beispielsweise bei der Termin- und Ablaufplanung im Bauwesen verwendet. Für die drei Programme wurden entsprechende Empfehlungen für die Rahmenlehrpläne erarbeitet.

In der nächsten Projektphase erfolgte die Entwicklung von Lehrplanerweiterungen für die russ. Partneruniversitäten (AP 2). In mehreren Stufen wurde ein Rahmenkonzept für die Erweiterung der IKT-Ausbildung entwickelt. Während des Projekttreffens in Nowotscherkassk konnten bereits erste Grundlagen für die Rahmenkonzepte erarbeitet werden. Beispielsweise wurde angestrebt im Bereich Baumanagement die verschiedenen Lehrveranstaltungen (GRAND SMETA-Kostenmanagement, MS Project-Terminmanagement) durch ein gemeinsames Übungsbeispiel miteinander zu verknüpfen. Für ein identisches Gebäude als Übungsbeispiel wurden die Kosten ermittelt bzw. die Kostenkalkulation durchgeführt sowie das Terminmanagement über die gesamte Phase der Gebäudeerstellung (Planung und Ausführung) erarbeitet.

Unterteilt in die Bereiche CAD/CAE (Straßenplanung) und Baumanagement wurden unter stetigem Austausch der verschiedenen Partner die Rahmenkonzepte entworfen. Ziel war es ein einheitliches Konzept für die verschiedenen Lehrveranstaltungen an den russischen Hochschulen zu konzipieren. Aufbauend auf den Rahmenkonzepten erfolgte die Entwicklung von Lehrplanmodulen für CAD/CAE und Baumanagement. Im Bereich CAD/CAE kommt die Software CREDO und AutoCAD zum Einsatz. Der Unterricht basiert auf 14 Lehrveranstaltungen (Vorlesungen/Übungen). Im Bereich Baumanagement wird die Software GRAND SMETA und MS Project in 8 bzw. 17 Lehrveranstaltungen (Vorlesungen/Übungen) gegliedert.

Neben den monatlich stattfindenden Videokonferenzen aller Projektpartner fand im Mai 2010 eine weitere Projektkonferenz aller drei Arbeitsgruppen im Projekt in Weimar statt. Die oben aufgeführten Bestandteile der Lehrplanmodule wurden diskutiert und beschlossen. In dem folgenden Arbeitspaket (AP 3) erfolgte die detaillierte Ausarbeitung der Lehrveranstaltungen, um im Anschluss die E-Learning-Anwendungen und -Module zu erstellen.

Neben der inhaltlichen Bearbeitung der Lehrveranstaltungen und E-Learning Module im vierten Arbeitspaket erfolgte die Bereitstellung von notwendiger Hard- und Software. Es wurden entsprechende Server installiert und E-Learning-Pools eingerichtet. Die Lehrplanerstellung und Entwicklung der Lehrveranstaltungen konnte sofort mit dem installierten System abgestimmt werden.

Die Einführung in die Lehrpläne der russischen Universitäten (AP 5) erfolgte zum Wintersemester 2010/11 und zum Sommersemester 2011. In der ersten Phase wurde mit den Lehrmodulen für die Programme Grand Smeta und CREDO begonnen. In der zweiten Phase, d. h. zum Sommersemester 2011 wurden die Lehrmodule MS Project an den drei russischen Partneruniversitäten erfolgreich eingeführt. Bereits zum Wintersemester 2011/12 erfolgt der zweite Zyklus der neuen Module. An den russ. Partneruniversitäten werden gemäß der Ablaufplanung die Lehrmodule für die Programme Grand Smeta und CREDO angeboten.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil des Projekts stellt die Verbreitung der Projektergebnisse (AP 6), die Etablierung des Ausbildungsnetzwerkes an den russischen Hochschulen, dar. Die Vernetzung der drei teilnehmenden russischen Universitäten wurde erfolgreich durch die Installation des Servers und das Angebot von identischen Kursen an diesen Hochschulen erreicht. Der Server dient als Kommunikations- und Kollaborationsplattform zwischen den Projektpartnern, Hochschuldozenten und Studenten der angebotenen Lehrmodule. Bereits mit der Startphase des Projekts wurde eine Website (www.iktru.eu) mit internen und externen Bereichen aufgebaut und zur Kommunikation genutzt. Des Weiteren konnten die Projektpartner auf verschiedenen Konferenzen innerhalb der EU und in Russland ihr Projekt und die Projektergebnisse präsentieren und publizieren.

Um die Nachhaltigkeit des Projekts (AP 7) zu gewährleisten, wird die IKT – Infrastruktur auch als Weiterbildungsnetzwerk genutzt. Dazu wurde bereits bei der Installation des Servers an eine interne nur für Mitarbeiter zugängliche Ebene eingeplant. Es können Lehrmaterialien heruntergeladen, neue Literatur ausgetauscht und Module und Lehrinhalte gepflegt werden. Des Weiteren entwickeln die drei russischen Hochschulen Konzepte und einen Stufenplan für die Weiterführung der Projektergebnisse. Insbesondere die Weiterführung der Lehrmodule im Bereich der Hochschule und für die Weiterbildung von bereits tätigen Ingenieurinnen und Ingenieuren werden Konzepte erarbeitet. Dabei werden neben dem Qualitätsmanagement für die Lehrmodule insbesondere die Finanzierung von Lehrpersonal, die Nutzung und Administration der Hard- und Software sowie die Bereitstellung von Räumlichkeiten gesichert. Im April 2011 fand ein Workshop in Maribor statt. Die Projektnehmer diskutierten die unterschiedlichen Ansätze für eine Weiterführung der Projektergebnisse und präzisierten die Anforderungen für ein Nachhaltigkeitskonzept.

Bestandteil des AP 8 ist das Qualitäts- und Projektcontrolling. Dabei führt das oben erwähnte Gremium aus externen Experten ein projektunabhängiges Monitoring durch. Die erarbeiteten Kurse wurden an den drei russischen Hochschulen hospitiert und bewertet. Den zweiten Bestandteil des AP 8 stellt das interne Qualitätsmanagement dar. Dazu wurden Evaluationen der Kurse durch das Lehrpersonal und die Studenten durchgeführt. Die Ergebnisse wurden ebenfalls beim Projekttreffen in Maribor diskutiert und sind direkt in die Weiterentwicklung eingeflossen. Des Weiteren treffen sich mindestens einmal pro Monat alle Projektmitarbeiter der TU Dresden und beraten über den Fortschritt und künftige Tätigkeiten. Diese Treffen können dem letzten Arbeitspaket (AP 9) zugeordnet werden und korrespondieren mit dem AP 8. In Videokonferenzen mit den russischen Vertretern werden die Ergebnisse aus den internen Treffen diskutiert, ergänzt und abgestimmt. Innerhalb dieser Treffen und zusätzlich bei Workshops, an denen alle Vertreter anwesend sind, wird über die Projektkoordinierung, die weitere Durchführung und Präzisierung der Arbeitsschritte beraten und beschlossen.

Momentan befindet sich das Projektkonsortium in der letzten Projektphase und steht kurz vor dem Abschluss.

Dieser kurze Bericht soll einen kleinen Überblick über den Ablauf des Projekts „IKTRu - Integration der IKT an Technischen Hochschulen Russlands“ geben. Aus Sicht aller Partner ist die Zusammenarbeit sehr fruchtbar und die Projektziele konnten gemeinsam erreicht werden. Neben der Einführung von IKT an russischen Universitäten und der Erfüllung der originären Projektziele, sind es besonders die Zusammenführung der unterschiedlichen Kulturen und Mentalitäten die dieses Projekt auszeichnen.

«Dieses Projekt wurde mit Unterstützung der Europäischen Kommission finanziert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung (Mitteilung) trägt allein der Verfasser; die Kommission haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben».

«This project has been funded with support from the European Commission. This publication [communication] reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein».

«Данный проект был осуществлен при финансовой поддержке Европейской Комиссии. Содержание данной публикации является предметом ответственности авторов и не обязательно отражает точку зрения Европейской Комиссии».

Enzfelder Katrin

Technische universität, Dresden, Germany
Institute of TrafficPlanning and Road Traffic
Faculty of Transportation and Traffic Sciences «Friedrich List»
Research assistant
Ph.: +49 351 463-36556
E-mail: katrin.enzfelder@tu-dresden.de

Kadolph Anne

Technische universität, Dresden, Germany
European Project Center (EPS)
Project manager
Ph.: +49 351 463-42188
E-mail: Kadolph@tu-dresden.de

Wach Marco

Technische universität, Dresden, Germany
Institut für Baubetriebswesen
Fakultät Bauingenieurwesen
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Ph.: 0351 463-36303
E-mail: marcowach@mailbox.tu-dresden.de

ГЛАДЫШЕВА О.В., БУЛГАКОВ А.Г., ДАНИЛЕВИЧ Д.В.

**E-LEARNING КАК ФОРМА ДИСТАНЦИОННОГО
ОБУЧЕНИЯ ДОРОЖНОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ**

Одной из областей эффективного применения электронной формы обучения E-Learning является преподавание дисциплин, связанных с обучением автоматизированному проектированию дорог. Особенную ценность она представляет при освоении таких комплексных программных продуктов, как CREDO. Студенты имеют возможность регистрироваться на электронной платформе OLAT, используемой для дистанционного обучения, выбирать наиболее подходящий для них режим обучения, проходить самотестирование и наилучшим образом готовиться к экзаменам.

Ключевые слова: электронное обучение, дорожное проектирование, программный продукт CREDO, электронная платформа OLAT.

Современное строительство характеризуется постоянным внедрением новых технологий, созданием и совершенствованием инструментов и методов для их эффективного освоения. К числу таких методов относится E-Learning, форма электронного обучения, позволяющая существенным образом изменить учебный процесс, повысить объем преподаваемого материала и степень его восприятия и освоения. Наглядность, возможность параллельной иллюстрации теоретических положений практическими примерами и постоянной работы со студентом или слушателем в интерактивном режиме способствуют быстрому становлению, переобучению и повышению квалификации специалиста.

В Европе широкое распространение получила платформа электронного обучения, разработанная в Цюрихе, переведенная на 17 языков и получившая в России название OLAT. Она оптимальным образом адаптирована к задачам высшей школы, позволяет облегчить и ускорить переход к кредитно-модульной системе обучения, являющейся обязательным условием реализации Болонского процесса у нас в стране. Кроме того, имеется возможность организовать дистанционное обучение, когда не только студенты, но и преподаватели могут находиться вдали от места расположения вуза. Это позволяет привлекать к учебному процессу специалистов, имеющих выдающиеся разработки в своей области знаний и обладающих большим практическим опытом, чего в существенной мере в настоящее время так не хватает российскому высшему образованию.

Дорожное строительство относится к числу наиболее динамично развивающихся направлений строительства в России. Этому способствует много факторов: необходимость развития отсталой инфраструктуры, гигантскими темпами растущее количество регистрируемых автотранспортных средств, реализация амбициозных проектов, связанных с проведением крупнейших международных спортивных форумов. Справиться с такими задачами с помощью традиционных подходов к дорожному проектированию становится невозможным.

Одним из эффективных методов дорожного проектирования является использование возможностей современной вычислительной техники и программного обеспечения. Широкое распространение в дорожных проектных организациях России нашел программный комплекс CREDO – «Дорожно-транспортное строительство» (рис. 1). Он позволяет в значительной степени автоматизировать процесс проектирования дорог с помощью цифрового моделирования на основании результатов геологических изысканий и геодезических измерений. Это позволяет существенно сократить затраты времени и повысить качество выполнения проектных работ.

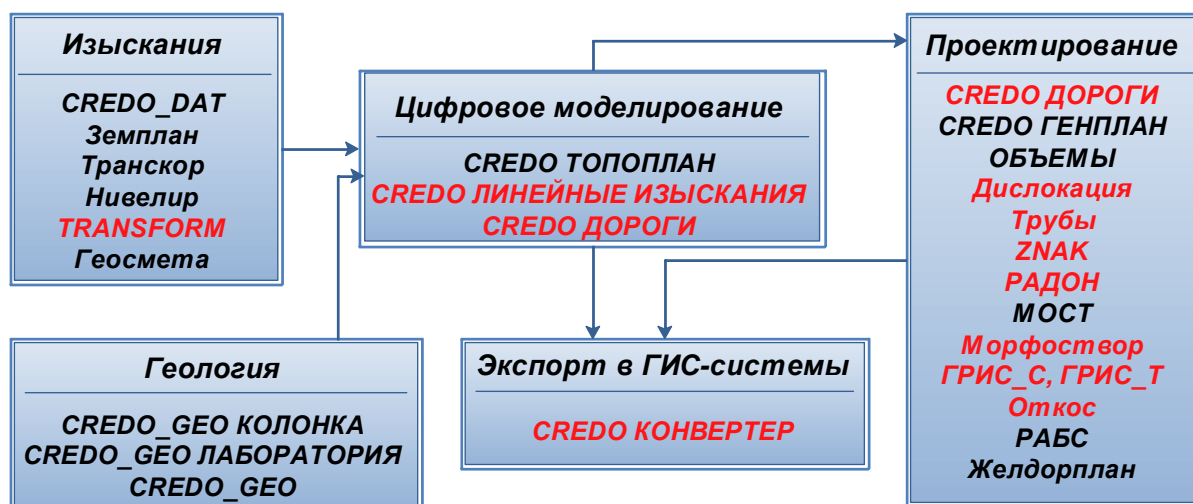


Рисунок 1 – Программный комплекс Credo – Дорожно-транспортное строительство

Credo является объектом изучения в инженерно-строительных вузах в рамках дисциплины «Основы автоматизированного проектирования транспортных сооружений». Этот комплекс имеет несколько модификаций, зависящих от объекта проектирования. Например, назначением Credo-ДОРОГИ является проектирование нового строительства и реконструкция автомобильных дорог всех технических категорий, транспортных развязок, городских улиц и магистралей. В качестве исходных данных используются: цифровая модель местности участка проектирования, полученная в системах ТОПОПЛАН; линейные изыскания; генплан; чтение данных Credo_TER, Credo_MIX; данные в формате DXF; картматериалы в виде растровых файлов; данные в виде текстовых файлов. Для освоения комплекса студенты и слушатели ФПК пользуются дорогостоящим программным обеспечением, установленным в компьютерных классах вузов. Для обеспечения доступа к нему широкого круга слушателей идеальным представляется использования организации учебного процесса с использованием платформы OLAT, учебные материалы которой представлены в виде лекций, лабораторных работ и тестовых заданий. Примеры фрагментов лекционного материала с соответствующими слайдами приведены на рисунках 2-4.

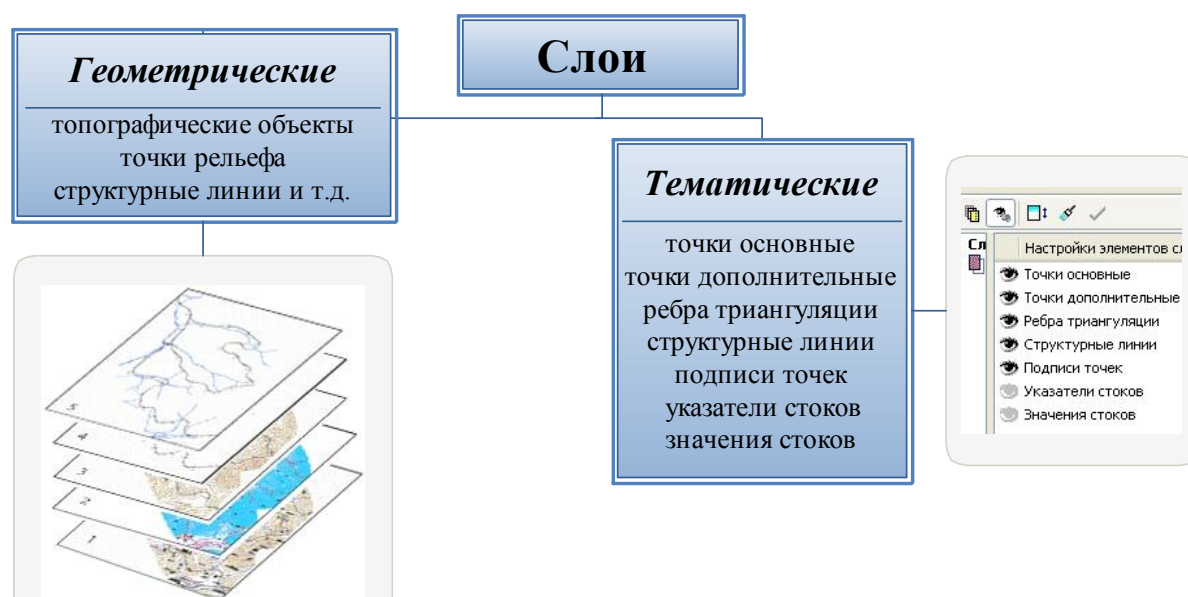


Рисунок 2 – Credo ДОРОГИ – Окно Слои

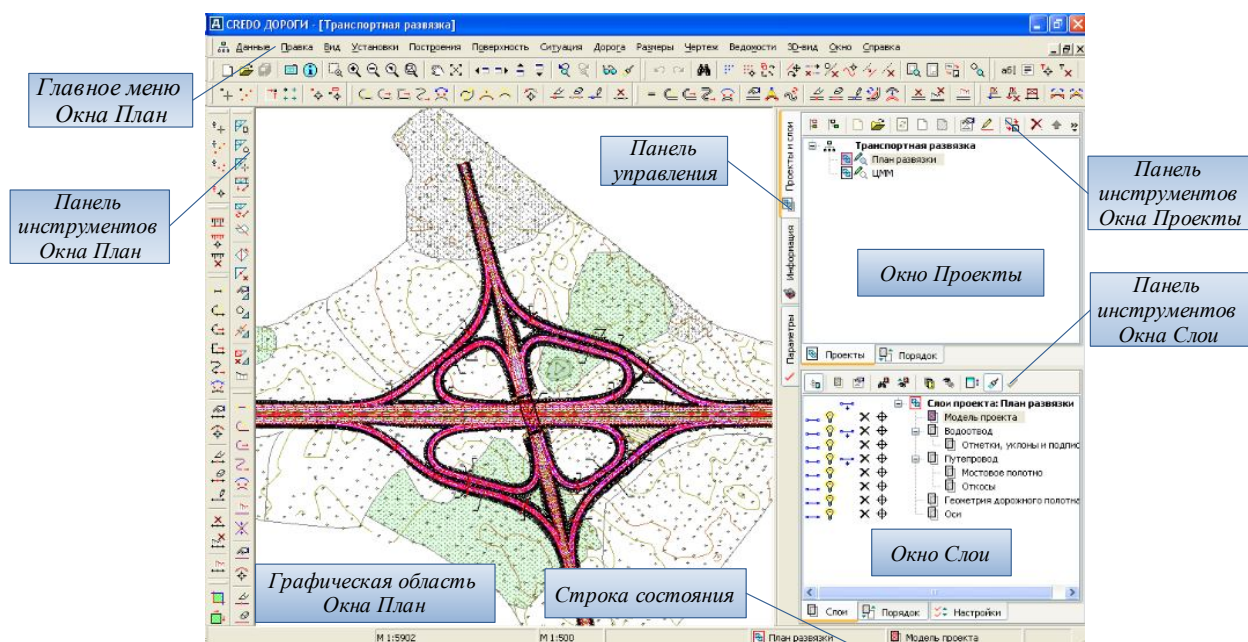


Рисунок 3 – CREDO ДОРОГИ – Окно План

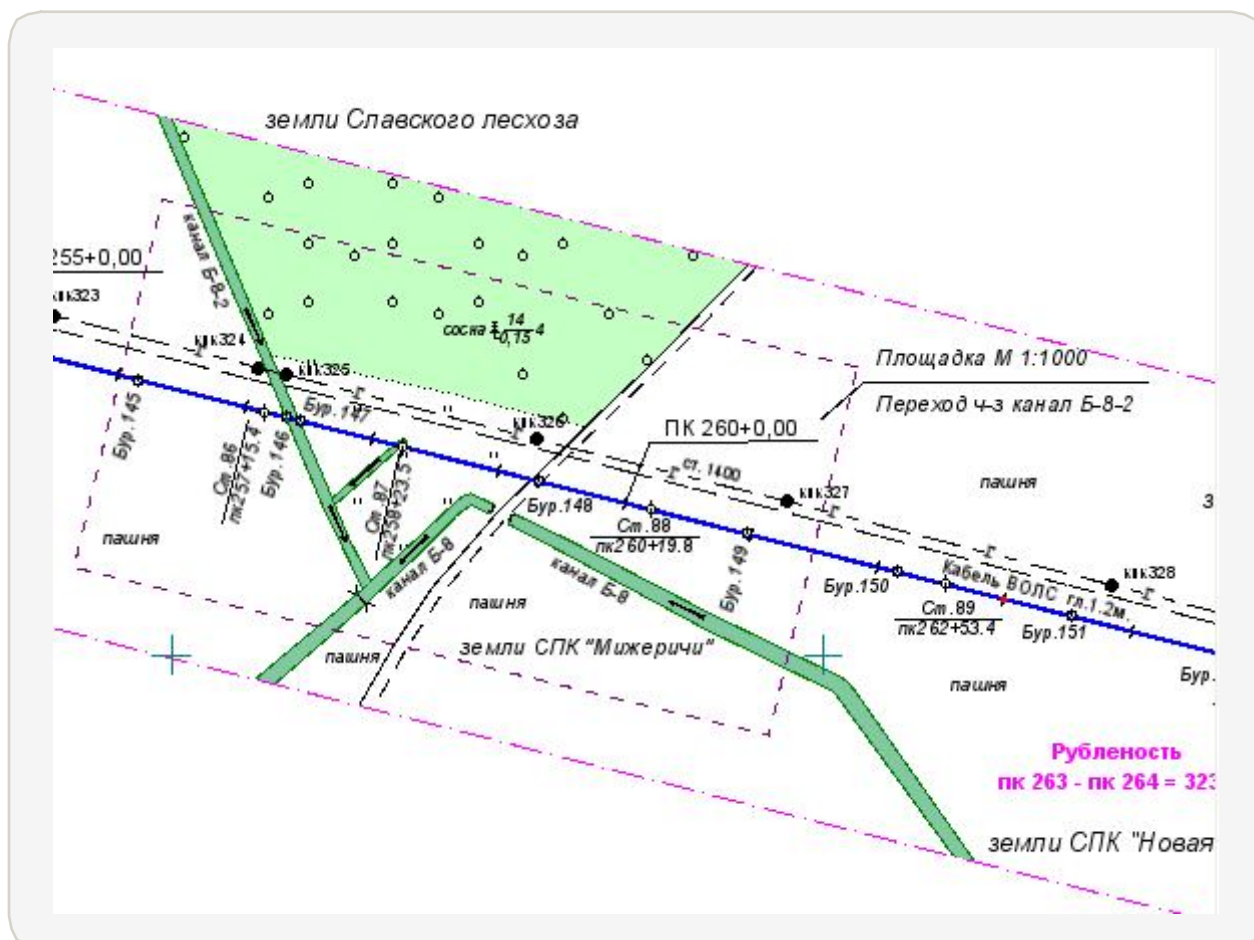


Рисунок 4 – Цифровая модель – ситуационный план трассы

Регистрация в системе OLAT (рис. 5) возможна по следующей ссылке: <http://tempus.npi-tu.ru/dmz> с помощью пароля, который по запросу предоставляется системным администратором (denis.chebotarev@gmail.com). Ему для этого необходимо направить

данные о фамилиях студентов, адресах, базовых знаниях, квалификации, а также адреса их электронной почты.

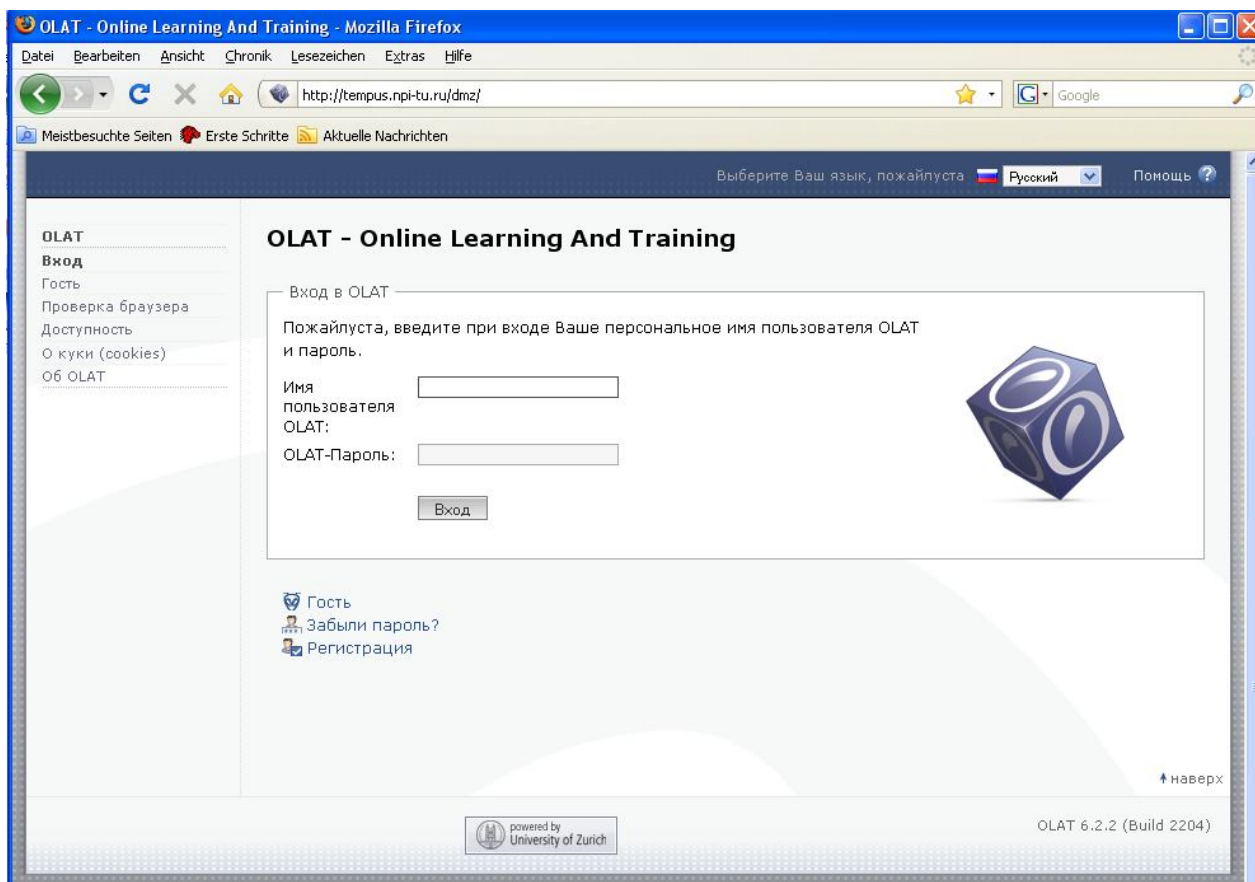


Рисунок 5 – Окошко для регистрации пользователя программы

Платформа (рис. 6) позволяет реализовать следующие функции:

- управление ресурсами, допуском к работе, сроками;
- управление содержанием курсов;
- внедрение и сопровождение курсов самообучения;
- представление в распоряжение коммуникационного пространства;
- организация и управление работой семинарской группы;
- проведение тестирования, опросов, оценки знаний.

Через систему учетных записей предотвращается несанкционированный доступ к учебным материалам. Студенты в течение учебного года имеют возможность on-line пользования и скачивания текстов лекций, описаний хода выполнения лабораторных работ и заданий на проектирование через Интернет.

При изучении дисциплины предусмотрено неоднократное тестирование студентов. В начале изучения дисциплины производится контроля остаточных знаний студентов по дисциплине «Основы проектирования транспортных сооружений», которая предшествует рассматриваемой в статье дисциплине и дает базовые знания по теории, технологии и нормам проектирования транспортных сооружений.

В ходе изучения дисциплины предусмотрено промежуточное тестирование студентов по «контрольным точкам» в соответствии с Положением, действующем в вузе. По итогам изучения дисциплины студенты также проходят тестирование. Тестовые материалы содержат большой объем тестовых заданий различных видов (открытые закрытые, на упорядочивание и на соответствие).

Результаты тестирования и экзамена показывают, что успеваемость по дисциплине «Основы автоматизированного проектирования транспортных сооружений» с применением учебного курса для дистанционного обучения OLAT повышается на 20% по сравнению с традиционной подачей материала.

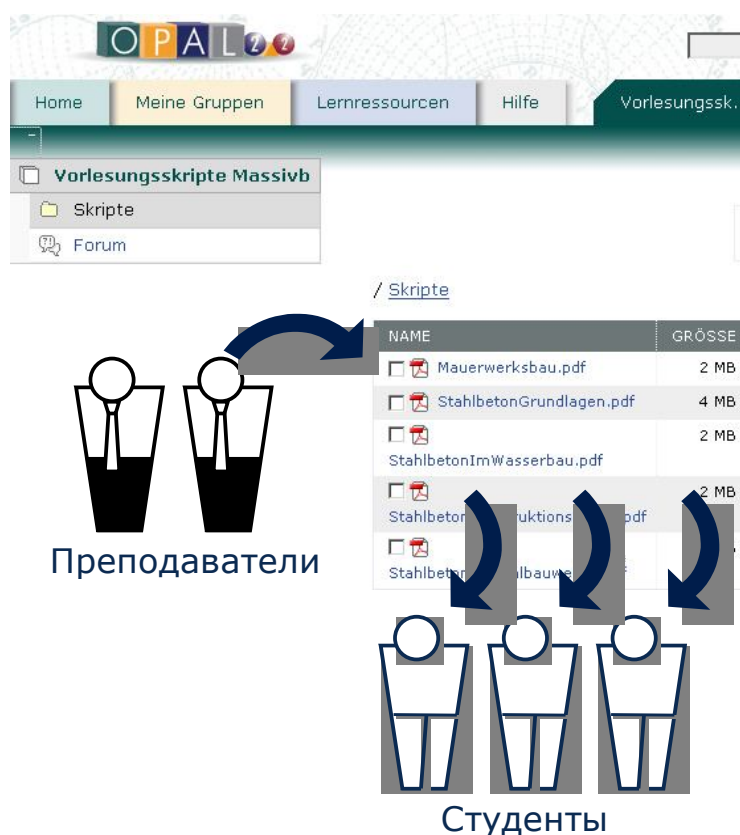


Рисунок 6 – Образовательная платформа ОЛАТ

Модульное построение курсов позволяет осуществлять индивидуальную подготовку «Just-enough-Learning» студентов или слушателей курсов переподготовки персонала в удобное для них время и с учетом уровня их квалификации. Преподаваемый материал может быть адаптирован к профилю фирмы и подаваться непосредственно на рабочем месте, что является наиболее эффективным способом, так как полученные знания могут сразу же использоваться на практике. Инновационные циклы становятся все более короткими. Области деятельности и содержание работы сотрудников изменяются также ускоренными темпами. Центральное управление online-курсами обеспечивает своевременную актуализацию учебного материала.

Работа с единой платформой, с инструментами коммуникации и кооперации знаний обеспечивает активный диалог между участниками, которые могут находиться в различных географических точках и принадлежать к различным отраслям промышленности.

Наиболее простой возможностью использовать предлагаемые мультимедийные средства в рамках учебных курсов, семинаров и ФПК является предоставление учебных материалов и документации в электронной форме. Их можно направлять по E-Mail или размещать на сервере. Обучаемым предоставляются в распоряжение вопросы для самотестирования. Интерактивные упражнения с применением аудио-, видеоматериалов, анимации способствуют активному и наглядному обучению. Сеть интернет обеспечивает быструю коммуникацию совместную работу участников курса, формирование групп, индивидуальное руководство, самостоятельный выбор образовательной траектории, обмен документацией и проведение дискуссий.

Кроме того, авторские права дают возможность оформлять и структурировать курсы по своему усмотрению. Существенную поддержку оказывает при этом имеющаяся на плат-

форме система менеджмента учебным процессом (рис. 7). Целесообразной является комбинация e-learning с проведением семинаров в режиме видеоконференций, когда возможен прямой контакт обучаемых с преподавателем. Это поддерживает и облегчает коммуникационный процесс в виртуальном пространстве.

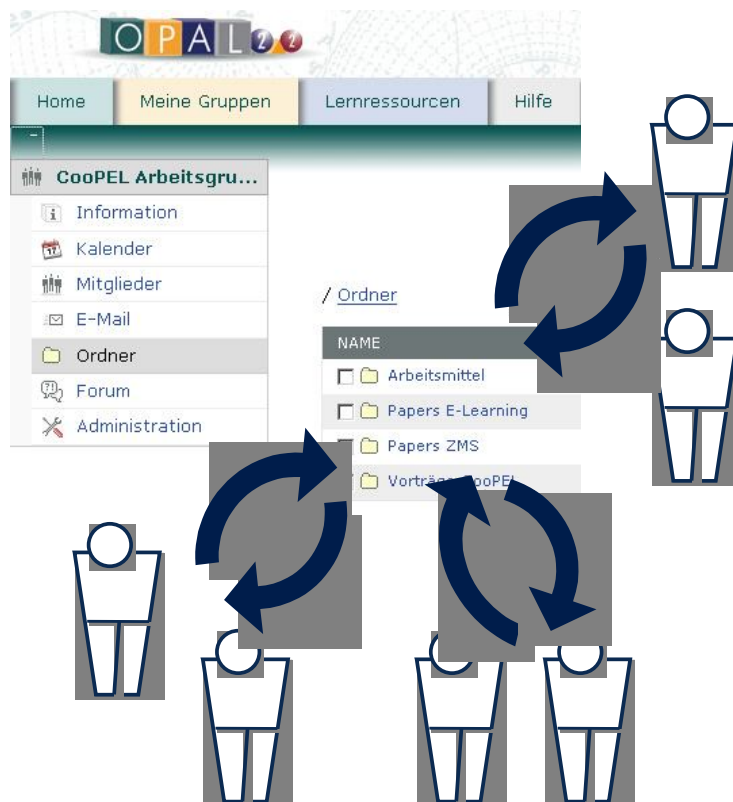


Рисунок 7 – Система менеджмента учебным процессом

Материал данной статьи, представленный авторами, является результатом их в работы в международном проекте 145022-TEMPUS-2008-DE-JPCR «Интеграция информационных и коммуникационных технологий в высших учебных заведениях России», в котором приняли участие вузы Германии, Австрии, Словении, а также Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ФГБОУ ВПО «Государственный – УНПК» (г. Орел) и Южно-Российский государственный технический университет (г. Новочеркасск), выполненным при поддержке Европейской Комиссии.

Гладышева Ольга Вадимовна

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, г. Воронеж
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: ov-glad@ya.ru

Булгаков Алексей Григорьевич

Южно-Российский государственный технический университет, г. Новочеркасск
Доктор технических наук, профессор
E-mail: a.bulgakow@gmx.de

Данилевич Денис Владимирович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительство автомобильных дорог»
Тел.: +7 (4862) 76-03-72
E-mail: oantc@mail.ru

GLADYSHEVA O.V., BULGAKOV A.G., DANILEVICH D.V.

E-LEARNING AS E FORM OF DISTANCE TEACHING FOR ROADS DESIGN

One of the application domain of E-Learning is the teaching of disciplines when is concerned with roads design. It is out of the ordinary essential by the learning of complexes software as CREDO. For students is possibility to registration on the e-platform OLAT which it is used for distance learning, to register for best of behaviour, to take course of self-test and to prepare for examination.

Keywords: *E-Learning, road design, software package CREDO, e-platform OLAT.*

Gladysheva Olga Vadimovna

Voronezh state architecturally-building university, Voronezh

Candidate of technical science, associate professor

E-mail: ov-glad@ya.ru

Bulgakov Alexey Grigor'evich

South-Russia state technical university, Novocherkassk

Doctor of technical science, professor

E-mail: a.bulgakov@gmx.de

Danilevich Denis Vladimirovich

State university – educational-science-production complex, Orel

Candidate of technical sciences, associate professor

Тел.: +7 (4862) 76-03-72

E-mail: oantc@mail.ru

УДК 69

СУРОВЦЕВ И.С., ПРОСКУРИН Д.К., САМОДУРОВА Т.В.,
ГЛАДЫШЕВА О.В.

ПРОЕКТ TEMPUS В ВОРОНЕЖСКОМ ГАСУ

В статье описывается опыт участия Воронежского ГАСУ в программе Европейского Союза TEMPUS «Интеграция информационно-коммуникационных технологий в технические вузы России». Разработан учебный курс для системы дистанционного обучения OLAT по дисциплине «Основы автоматизированного проектирования транспортных сооружений». Учебный курс основан на использовании программного комплекса CREDO. Проведена апробация курса в 2010-2011 учебном году.

Ключевые слова: дистанционное обучение, e-learning, учебный курс, программный комплекс CREDO.

TEMPUS – одна из программ Европейского Союза, направленная на содействие развитию систем высшего образования в странах-партнерах ЕС. Европейская Комиссия рассматривает высшее образование в качестве важнейшего приоритета своей деятельности в рамках сотрудничества с соседними и более удаленными государствами. Поэтому общей задачей TEMPUS является содействие развитию сближения в области высшего образования между Европейским Союзом и странами-партнерами в контексте реализации Лиссабонской стратегии и Болонского процесса. Эта программа является одной из самых продолжительных, ее первый этап начался в 1990 г. В настоящее время программа находится на новом этапе – TEMPUS IV, охватывающем период с 2007 по 2013 г. Воронежский государственный архитектурно-строительный университет принимает участие в международном проекте с мая 2009 года.

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет совместно с Дрезденским техническим университетом выступили одними из инициаторов проекта под названием «Интеграция информационно-коммуникационных технологий в технические вузы России». В жесточайшем конкурсном отборе право участия в этом проекте удалось получить ряду высших учебных заведений из разных стран. В России это Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, Южнороссийский государственный технический университет (г. Новочеркасск), ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК» (г. Орел). Европейские страны представлены в проекте техническим университетом Дрездена и строительным университетом Веймара (Германия) и университетом города Марибор (Словения).

Программа проекта «Интеграция информационно-коммуникационных технологий в технические вузы России» рассчитана на три года и предполагает:

- совершенствование учебных планов направлений «Строительство» и «Менеджмент в строительстве» с целью максимального использования информационно-коммуникационных технологий в учебном процессе;
- внедрение технологии дистанционного обучения e-learning,
- приобретение технического оборудования, поддерживающего технологию e-learning;
- приобретение и внедрение в учебный процесс специализированного прикладного программного обеспечения;
- обучение сотрудников университетов новым информационно-коммуникационным технологиям для реализации учебного процесса на высоком мировом уровне, обеспечивающем студентам так называемую академическую мобильность, т.е. позволяющем осваивать образовательные программы как в вузах России, так и за рубежом.

В рамках данного проекта вместе с организационной составляющей произведен большой объем технических работ по приобретению и установке специального компьютерного оборудования, организации современного компьютерного класса, позволяющего проводить практические занятия по изучению прикладных программ. Кроме этого, проведены работы по оснащению специальным лицензионным программным обеспечением.

Система дистанционного обучения при помощи информационных, электронных технологий находит все более широкое применение в вузах России. Она предоставляет широкий спектр методов дистанционного обучения, позволяет выбирать метод с учётом индивидуальных требований и предпочтений студента, но в то же время не исключает его общение с преподавателем, кроме этого, система дистанционного обучения позволяет выбирать студенту удобное время и место для обучения, индивидуальный график обучения.

В соответствии с программой TEMPUS в Воронежском ГАСУ проводились работы по созданию учебного курса для системы дистанционного обучения OLAT сотрудниками кафедры проектирования автомобильных дорог и мостов по дисциплине «Основы автоматизированного проектирования транспортных сооружений».

Учебный курс основан на использовании программного комплекса CREDO, который широко используется в дорожных проектных организациях России. Размещение учебных материалов в системе OLAT находилась под контролем международных экспертов.

В 2010-2011 учебном году курс прошел апробацию в Воронежском ГАСУ, Южнороссийском ГТУ (Новочеркасск) и ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК» (г. Орел).

В соответствии с учебным планом и рабочей программой курс состоит из 14 лекций и 12 лабораторных работ. Он разделен на три тематических блока. Информация о тематических блоках и перечень лабораторных работ приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Тематические блоки и лекции учебного курса «Основы автоматизированного проектирования транспортных сооружений»

Наименование тематического блока	Наименование лекции
1. Основы автоматизированного проектирования автомобильных дорог	Лекция № 1. Системы автоматизированного проектирования автомобильных дорог
	Лекция № 2. Техническое обеспечение САПР-АД
	Лекция № 3. Программное обеспечение САПР-АД
2. Автоматизированное проектирование отдельных элементов транспортных сооружений (автомобильных дорог)	Лекция № 4. Структура программного комплекса CREDO
	Лекция № 5. Система CREDO ДОРОГИ. Цифровое моделирование местности в системе CREDO ДОРОГИ
	Лекция № 6. Проектирование плана трассы в системе CREDO ДОРОГИ
	Лекция № 7. Проектирование водопропускных сооружений
	Лекция № 8. Проектирование продольного профиля и земляного полотна в системе CREDO ДОРОГИ
	Лекция № 9. Проектирование инженерного обустройства
	Лекция № 10. Автоматизированное проектирование пересечений и примыканий автомобильных дорог
3. Оценка и оптимизация проектных решений	Лекция № 11. Автоматизированное проектирование оптимальных нежестких дорожных одежд
	Лекция № 12. Оценка проектных решений при автоматизированном проектировании автомобильных дорог
	Лекция № 13. Оценка проектных решений в программном комплексе CREDO
	Лекция № 14. Оформление и компоновка чертежей средствами программного комплекса CREDO и AutoCAD

Таблица 2 – Лабораторные работы учебного курса «Основы автоматизированного проектирования транспортных сооружений»

Номер лабораторной работы	Наименование лабораторной работы
1	Подготовка картографического материала в программе Transform
2	Создание цифровой модели рельефа на основе картографического материала
3	Создание цифровой модели ситуации
4	Проектирование плана трассы. Метод полигонального трассирования
5	Проектирование плана трассы. Метод «гибкой линейки»
6	Определение характеристик водосборного бассейна
7	Расчет нежесткой дорожной одежды в программе РАДОН на динамическое воздействие нагрузки
8	Расчет дождевого стока по формуле III СП 33-101-2003 в программе ГРИС-С и подбор типовых размеров круглой водопропускной трубы по гидравлическим показателям в программе ГРИС-Т
9	Проектирование продольного профиля автомобильной дороги методом оптимизации
10	Проектирование продольного профиля автомобильной дороги методом построений
11	Проектирование земляного полотна
12	Оформление и вывод чертежей

В системе OLAT учебные материалы представлены в виде трех блоков – лекции, лабораторные работы и тестовые задания.

Все лекции представлены в формате *.html. Интерфейс системы OLAT и фрагмент лекционного материала приведены на рисунке 1.

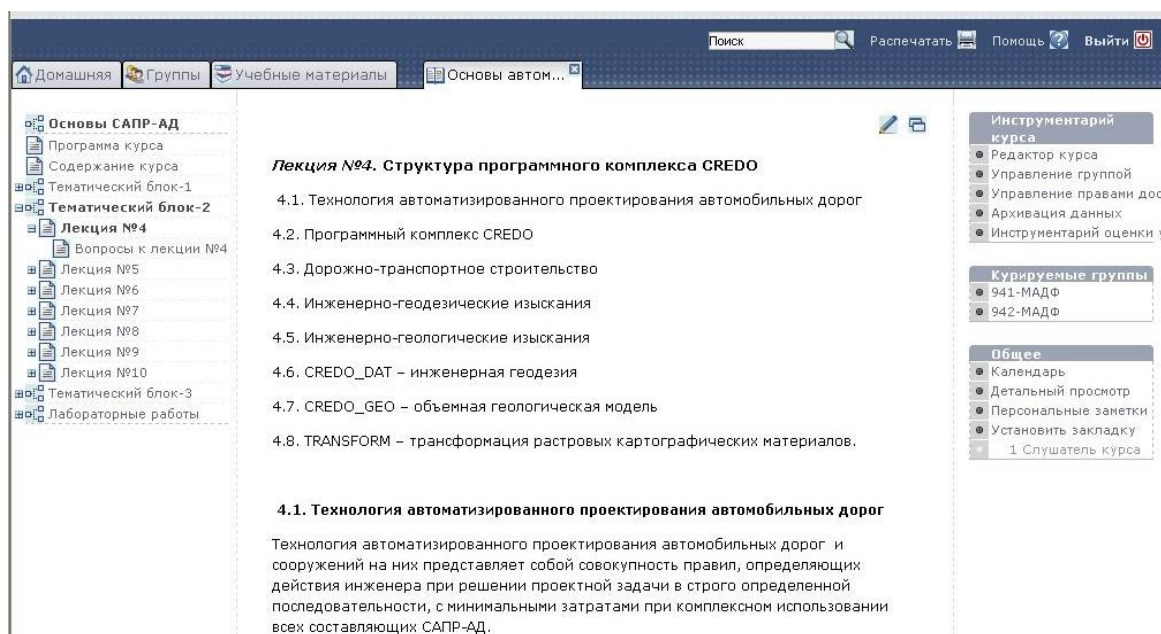


Рисунок 1 – Фрагмент лекционного материала

Каждая лекция сопровождается компьютерной презентацией с графическим материалом, схемами, основными определениями. В тексте каждой лекции предусмотрены гиперссылки на рисунки и слайды презентации. Фрагмент лекционного материала с соответствующим слайдом приведен на рисунке 2.

В блоке «Лабораторные работы» представлены варианты заданий на проектирование автомобильной дороги в виде файлов формата *.doc и два фрагмента карты в формате *.jpg. Описание хода выполнения лабораторных работ приведены в формате *.pdf, чтобы студенты могли их сохранить и распечатать. Интерфейс системы с доступом к описанию лабораторных работ приведен на рисунке 3.

Описания хода выполнения лабораторных работ дополнены примером их результатов, приведенным на рисунке 4.

6.3. Трассирование в системе CREDO ДОРОГИ

Трасса автомобильной дороги (АД) в системе CREDO ДОРОГИ – это комплексный объект. Она представляет собой маску одной оси (моноктрасса) или трех осей (политрасса) (Слайд 6.1 и 6.2).

Моноктрасса имеет одну ось – трассу АД, к которой привязаны все элементы дороги: продольный и поперечный профили, конструкции земляного полотна, дорожной одежды, искусственные сооружения и т.д. Применяется при проектировании дорог различных категорий без разделительной полосы.

Политрасса в системе представлена тремя конструктивными осями (главная, левая и правая оси политрассы), с которыми связаны все данные проектов, описывающих конструкцию разделительной полосы и дорожного полотна для движения автомобилей в прямом и встречном направлении. Логика работы политрассового объекта основывается на определенном виде построения поперечного сечения двух проезжих частей одновременно, даже в случае, когда их оси не параллельны. При просмотре поперечника на определенном пикете по главной оси строятся нормали к левой и правой оси. По этим нормальям выполняются поперечные сечения по каждой трассе. Перед выводом поперечника на экран система «разворачивает» созданные поперечные сечения с сохранением всех размеров в одну линию. Таким образом, можно просматривать актуальные поперечные сечения земляных полотен.

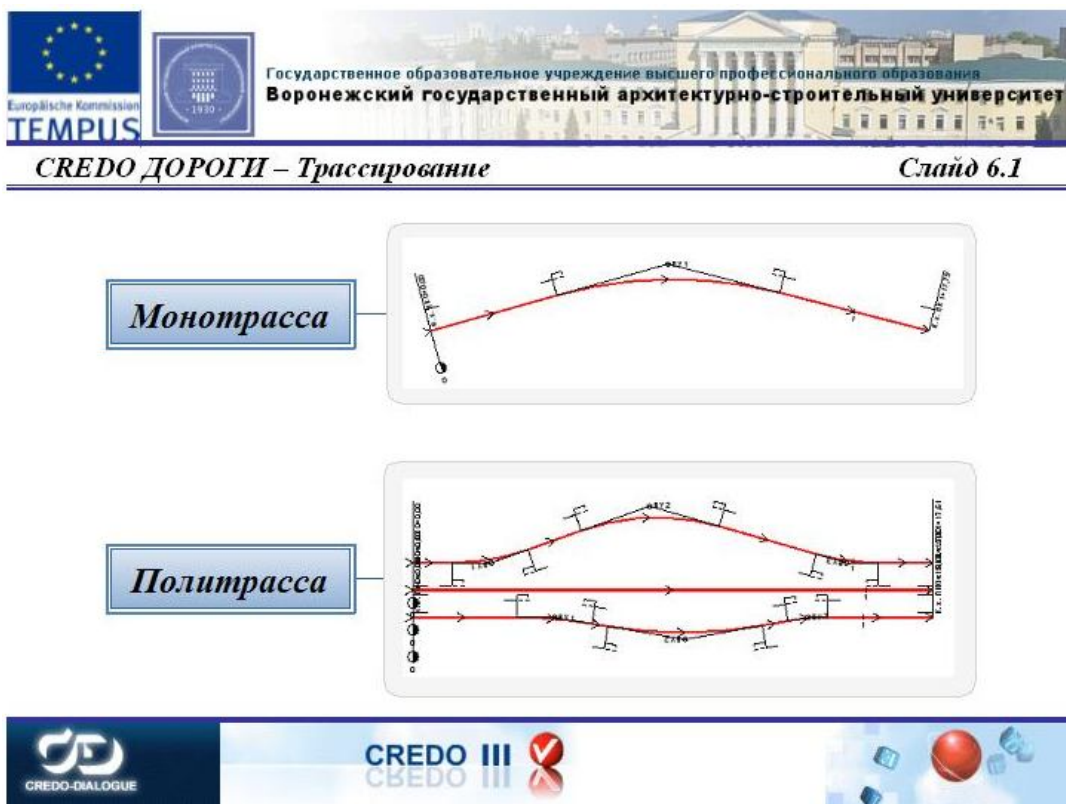


Рисунок 2 – Фрагмент текста лекции со слайдом презентации

Для использования учебных материалов студентам 4 курса механико-автодорожного факультета, обучающимся по специальности 270205 – Автомобильные дороги и аэродромы, было предоставлено право доступа в систему e-learning OLAT посредством получения специальных учетных записей. Регистрация в системе OLAT осуществлялась администратором, которому предварительно были предоставлены данные о фамилиях и именах студентов, а также адреса их электронной почты. Через систему учетных записей предотвращается несанкционированный доступ к учебным материалам.

Студенты в течение учебного года имели возможность on-line чтения и скачивания текстов лекций, описаний хода выполнения лабораторных работ и заданий на проектирование через Интернет. В целом, студенты положительно оценили преимущества, которые им предоставило использование система e-learning OLAT при изучении дисциплины.

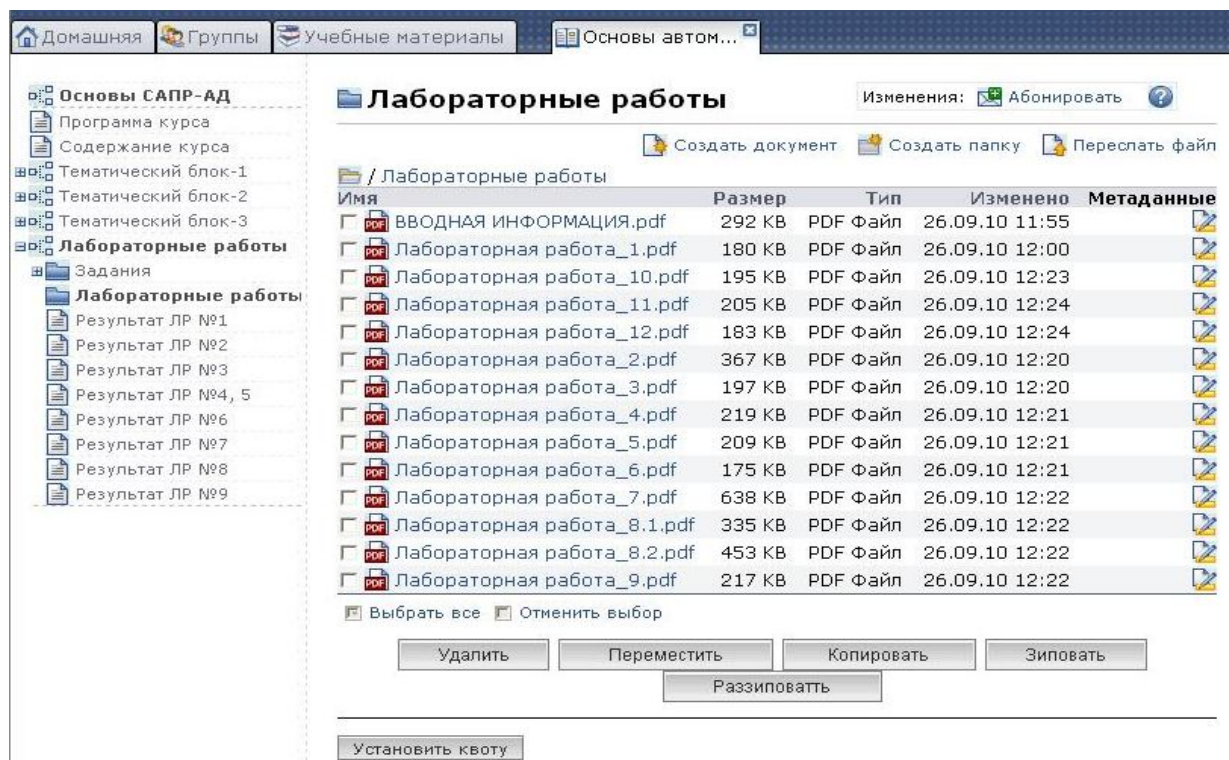


Рисунок 3 – Файлы с описанием последовательности выполнения лабораторных работ

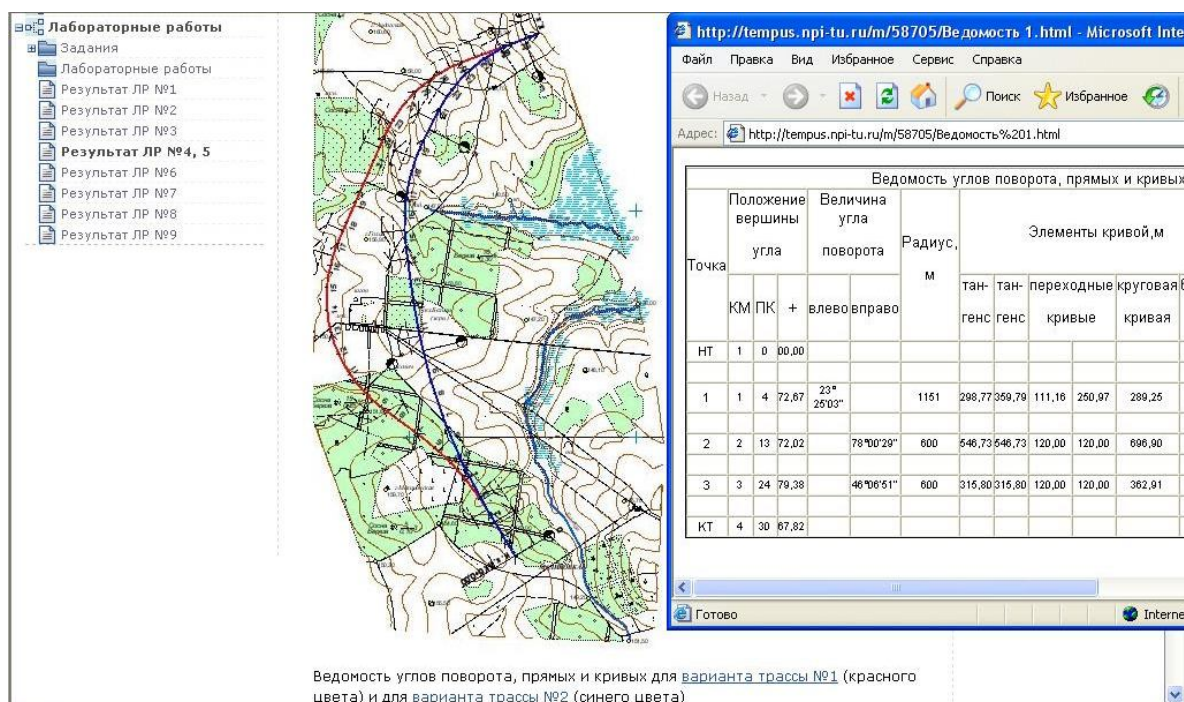


Рисунок 4 – Пример результатов выполнения лабораторной работы

При изучении дисциплины предусмотрено неоднократное тестирование студентов. В начале изучения дисциплины производится контроля остаточных знаний студентов по дисциплине «Основы проектирования транспортных сооружений», которая предшествует рассматриваемой в статье дисциплине и дает базовые знания по теории, технологии и нормам проектирования транспортных сооружений.

В ходе изучения дисциплины предусмотрено промежуточное тестирование студентов по «контрольным точкам» в соответствии с Положением, действующем в вузе.

По итогам изучения дисциплины студенты также проходят тестирование.

Разработанные тестовые материалы содержат большой объем тестовых заданий различных видов (открытые закрытые, на упорядочивание и на соответствие).

Результаты тестирований и экзамена показали, что успеваемость по дисциплине «Основы автоматизированного проектирования транспортных сооружений» с применением учебного курса для дистанционного обучения OLAT повысилась на 20% по сравнению с предыдущим учебным годом.

Суровцев Игорь Степанович

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (ВГАСУ), г. Воронеж

Доктор технических наук, профессор, ректор ВГАСУ

Тел.: +7 (473) 71-53-15

E-mail: rector@vgasu.vrn.ru

Проскурин Дмитрий Константинович

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (ВГАСУ), г. Воронеж

Кандидат физико-математических наук, проректор по информационным технологиям

Тел.: +7 (473) 71-53-15

Самодурова Татьяна Васильевна

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (ВГАСУ), г. Воронеж

Доктор технических наук, профессор

Тел.: +7 (473) 71-53-15

Гладышева Ольга Вадимовна

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, г. Воронеж

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: ov-glad@ya.ru

SUROVTSEV I.S., PROSKURIN D.K., SAMODUROVA T.V., GLADYSHEVA O.V.

**PROJECT TEMPUS AT THE VORONEZH STATE
ARCHITECTURALLY-BUILDING UNIVERSITY**

In this paper the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering experience in the European Union TEMPUS Programme «The integration of information and communication technologies in the technical universities of Russia» is described. Training course for distance learning system OLAT on the subject «Theory of roads automated design» was developed. The course is based on a software package CREDO. Testing course in the 2010-2011 academic years was conducted.

Keywords: distance learning, e-learning, training course, software package CREDO.

Surovtsev Igor Stepanovich

Voronezh state architecturally-building university, Voronezh

Doctor of technical science, professor, rector

Ph.: +7 (473) 71-53-15

E-mail: rector@vgasu.vrn.ru

Proskurin Dmitry Konstantinovich

Voronezh state architecturally-building university, Voronezh

Candidate of physical and mathematical sciences, pro-rector on information technology

Ph.: +7 (473) 71-53-15

Samodurova Tatyana Vasilevna

Voronezh state architecturally-building university, Voronezh

Doctor of technical science, professor

Ph.: +7 (473) 71-53-15

Gladysheva Olga Vadimovna

Voronezh state architecturally-building university, Voronezh

Candidate of technical science, associate professor

E-mail: ov-glad@ya.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 сверху – 2 см.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна статья одного автора**, включая соавторство.
- **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки - РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

В тексте статьи не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

Обязательные элементы:

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый 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.

С полной версией требований к оформлению научных статей
Вы можете ознакомиться на сайте www.gu-unpk.ru

Адрес учредителя журнала

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

Адрес редакции

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

Технический редактор С.В. Солопов
Компьютерная верстка С.В. Солопов, Н.В. Первых

Подписано в печать 17.10.2011 г.
Формат 70х108 1/16. Печ. л. 7,75.
Тираж 400 экз.
Заказ № _____

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