

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

Выходит 2 раза в год

Учредитель и издатель

Пензенский государственный
университет архитектуры
и строительства

Главная редакция:

А.М. Данилов (главный редактор)
Е.В. Королев (заместитель
главного редактора)
И.А. Гарькина (ответственный
секретарь)

Адрес редакции:

440028, г.Пенза, ул.Германа Титова, 28,
ПГУАС
Тел/факс 8412 929501
E-mail: regas@pguas.ru
fmatem@pguas.ru
www.rais.pguas.ru

Редакторы: С.В. Сватковская,
М.А. Сухова,
В.С. Кулакова

Дизайн обложки Е.Г. Лапшина

Компьютерная верстка:
Н.А. Сазонова

Перевод О.В. Гринцова

Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе по надзору за
соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций
и охране культурного наследия

Свидетельство о регистрации
ПИ №ФС77-25956 от 13 октября 2006 г.

Подписной индекс:
36946 в каталоге Роспечати

Авторы опубликованных материалов
несут ответственность за достоверность
приведенных сведений, точность данных
по цитируемой литературе и за исполь-
зование в статьях данных, не подлежа-
щих открытой публикации.

Редакция может опубликовать статьи
в порядке обсуждения, не разделяя точку
зрения автора.

Подписано к печати 13.11.2012.
Формат 60x84 1/8.
Уч.-изд.л. 22,5. Тираж 500 экз. Первый завод 100.
Заказ № 228.

Отпечатано в полиграфическом центре ПГУАС

**РЕГИОНАЛЬНАЯ
АРХИТЕКТУРА
И СТРОИТЕЛЬСТВО
3(14)/2012**

Содержание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ИЗДЕЛИЯ 5

Селяев В.П., Цыганов В.В., Уткин И.Ю.
КОМБИНИРОВАННЫЕ СБОРНО-МОНОЛИТНЫЕ
ПЕРЕКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО
НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК
БЕЗОПАЛУБОЧНОГО ФОРМОВАНИЯ 5

**Селяев В.П., Селяев П.В., Сорокин Е.В.,
Колотушкин А.В., Кечуткина Е.Л.**
ВЛИЯНИЕ СИЛ ТРЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ
БЕТОНА 12

**Макридин Н.И., Скачков Ю.П.,
Максимова И.Н., Суров И.А.**
КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКОГО
ПОВЕДЕНИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ БЕТОНА ИЗ
ГОРНЫХ ПОРОД 18

**Королев Е.В., Тарасов Р.В., Макарова Л.В.,
Иноземцев С.С., Смирнов В.А.**
МОДЕЛИРОВАНИЕ БИТУМНОЙ КОМПОЗИЦИИ
СО СТРУКТУРНЫМИ ЕДИНИЦАМИ
НАНОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ 26

**Береговой В.А., Костин Д.С., Королев Е.В.,
Береговой А.М., Ларина Г.Ф.**
ОПОЧНЫЕ ПОРОДЫ В ТЕХНОЛОГИИ
ПОРИСТОЙ КЕРАМИКИ ДЛЯ
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ. 33

Иващенко А.М., Калашников В.И., Каргин А.А.
ПРИКЛАДНОЙ МЕТОД РАСЧЕТА
ХАРАКТЕРИСТИК УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ
КОЛОНН ИЗ СТАЛИ И ВЫСОКОПРОЧНЫХ
БЕТОНОВ В СТОЙКАХ КАРКАСОВ ЗДАНИЙ 38

Бормотов А.Н., Колобова Е.А., Конопацкий Ю.В.
МЕТОДИКА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА КАК
ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ И
МОДЕЛИРОВАНИЯ 44

Макридин Н.И., Максимова И.Н., Симаков М.В.
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КЕРАМЗИТОВОГО
ГРАВИЯ ДЛЯ БЕТОНОВ ПОВЫШЕННОЙ
ПРОЧНОСТИ 52

**Логанина В.И., Кислицына С.Н., Черячукин В.В.,
Акжигитова Э.Р.**
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ В СУХИХ
СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЯХ ОРГАНОМИНЕ-
РАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ
СМЕШАНОСЛОЙНЫХ ГЛИН 57

© Авторы публикаций, 2012
© Е.Г. Лапшина, дизайн обложки, 2012
© ПГУАС, 2012

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	61	Нежданов К.К., Жуков А.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАЛЕТРУБОБЕТОНА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОБРУШЕНИЯ ФЕРМ ПОКРЫТИЯ ПРИ ПОЖАРЕ	130
Овчинников И.Г., Скачков Ю.П., Овчинников И.И., Юшков Б.С. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ РАСЧЕТЕ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	61	ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ	133
Данилов А.М., Гарькина И.А. АСИМПТОТИЧЕСКИЕ ПОЛИНОМЫ В СМЫСЛЕ И.И.ЭТЕРМАНА ПРИ АНАЛИТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ	70	Аверкин А.Г., Еремкин А.И., Камбург В.Г. КОСВЕННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ОПРЕДЕЛЯЮЩЕГО ЛИНЕЙНОГО РАЗМЕРА КАПЕЛЬ ВОДЫ, РАСПЫЛЯЕМОЙ МЕХАНИЧЕСКИМИ ФОРСУНКАМИ В ПОТОКЕ ВОЗДУХА	133
Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н. ПРИМЕНЕНИЕ ТОЛСТОСТЕННЫХ ДВУТАВРОВЫХ КРАНОВЫХ РЕЛЬСОВ.	79	Фильчакина И.Н., Ерёмкин А.И., Береговой А.М., Ежов Е.Г. НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕН- ТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА МОДЕЛИ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ РАЗДАЧИ ВОЗДУХА	139
Данилов А.М., Гарькина И.А., Гарькин И.Н. ЗАЩИТА ОТ УДАРА И СОПРОВОЖДАЮ- ЩЕЙ ВИБРАЦИИ: ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНО- ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ФУНКЦИЙ.....	85	Боровков Д.П., Чичиров К.О. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМ АСПИРАЦИИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ЗАКРУТКИ ПОТОКА В ВОЗДУХОВОДАХ ..	145
Вдовин В.М., Мухаев А.И., Арискин М.В. ПРЕДЕЛЬНАЯ НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЦЕНТРОВОЙ ВКЛЕЕННОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ШПОНКИ	89	АРХИТЕКТУРА.....	149
Бакушев С.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОГО ВОЛНОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА МАССИВНУЮ ПРЕГРАДУ	95	Мазявкина В.Д., Круглов Ю.В. ЭКСПРЕСС-МЕТОД РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ГОРОДА.....	149
Михайлов П.Г., Соколов А.В. СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ФИЗИКО-МАТЕМА- ТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЕМКОСТНЫХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДАТ- ЧИКОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	102	Гуляева Т.П., Гринцова О.В. РАЙНЕР МАРИЯ РИЛЬКЕ ОБ ИСКУССТВЕ СКУЛЬПТУРЫ (ОГЮСТ РОДЕН).....	154
Михайлов П.Г., Соколов А.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДАТЧИКОВ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ	110	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ	159
Недоговоров А.Д. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ	118	Хаметов Т.И., Букин С.Н. АНАЛИЗ ПРАКТИКИ В СФЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ ЖИЛИЩНО- КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА	159
Миряев Б.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СЕТЧАТЫХ КУПОЛОВ, ОБРАЗОВАННЫХ НА ОСНОВЕ ИКОСАЭДРА	122	Широков А.И. ОРГАНИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ РЫНКА ОБЪЕКТОВ, НЕ ЗАВЕРШЕННЫХ СТРОИТЕЛЬСТВОМ, И СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ИХ СТОИМОСТИ	165
Кочеткова М.В., Гусев Н.И. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ РОСТВЕРКОВ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПОД КОЛОННЫ	126	Королев А.А., Королева Л.А., Гринцов Д.М. СРЕДНЕЕ ПОВОЛЖЬЕ: НАЦИОНАЛЬНАЯ ТАТАРСКАЯ КУЛЬТУРА И ГЛОБАЛИЗАЦИЯ	169
		Артемова С.Ф., Королев А.А., Королева Л.А., Гарькин И.Н., Гринцов Д.М. ПЕНЗЕНСКИЙ РЕГИОН: ЕВАНГЕЛЬСКИЕ ХРИСТИАНЕ-БАПТИСТЫ – ВЗГЛЯД В СОВЕТСКОЕ ПРОШЛОЕ (1960 – ПЕРВАЯ ПОЛОВИНА 1980 ГГ.)	172
		Указатель статей, опубликованных в 2012 г.	176

Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS.....	5	BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS	61
Selyaev V.P., Tsyganov V.V., Utkin I.Ju. COMBINED PREFABRICATED MONOLITHIC SLABS ON THE BASIS OF NON-FORMWORK PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE BEAMS	5	Ovchinnikov I.G., Skachkov Y.P., Ovchinnikov I.I., Yushkov B.S. COMPARATIVE ANALYSIS OF SOIL FOUNDATION MODELS USED IN THE CALCULATION OF TRANSPORT CONSTRUCTIONS	621
Selyaev V.P., Selyaev P.V., Sorokin E.V., Kolotushkin A.V., Kechutkina E.L. FRICTION INFLUENCE ON CONCRETE STRENGTH.....	12	Danilov A.M., I.A. Garkina ASYMPTOTIC POLYNOMIALS IN TERMS OF LIETERMAN IN THE ANALYTICAL DESCRIPTION OF EXPERIMENTAL DATA....	70
Makridin N.I., Skachkov Y.P., Maksimova I.N., Surov I.A. INTEGRATED ASSESSMENT OF CONCRETE ROCK FILLERS MECHANICAL BEHAVIOUS	18	Nezhdanov K.K., Kuzmishkin A.A., Garkin I.N. THE USE OF THICK-WALLED TWIST CRANE RAILS	79
Korolev E.V., Tarasov R.V., Makarova L.V., Inozemtsev S.S., Smirnov V.A. SIMULATIONS STUDY OF BITUMEN COMPOSITION WITH NANOSCALE STRUCTURAL UNITS.....	276	PROTECTION FROM SHOCK AND ACCOMPANYING VIBRATIONS: EXPONENTIAL-TRIGONOMETRIC APPROXIMATION OF FUNCTIONS.....	85
Beregovoi V.A., Kostin D.S., Korolev E.V., Beregovoi A.M., Larina G.F. SILICA CLAY DEPOSITS IN TECHNOLOGY OF POROUS CERAMICS FOR ENCLOSING BUILDING STRUCTURES.....	33	Vdovin V.M., Muhaev A.I., Ariskin M.V. ULTIMATE BEARING CAPACITY OF THE RING CENTER-GLUED DOWELS.....	89
Ivashchenko A.M., Kalashnikov V.I., Kargin A.A. APPLIED CALCULATION METHOD OF STABILITY CHARACTERISTICS FOR COLUMNS FROM STEEL AND HIGH- STRENGTH CONCRETE IN BUILDINGS SKELETONS RACKS	38	Bakushev S.V. DETERMINATION OF ACTIVE WAVE PRESSURE ON A MASSIVE BARRIER	95
Bormotov A.N., Kolobova E.A., Konopatsky Y.V. METHODOLOGY OF COMPOSITE MATERIAL PRESENTATION AS AN OBJECT OF RESEARCH AND MODELING	44	Mikhailov P.G., Sokolov A.V. SYNTHESIS AND ANALYSIS OF PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELS OF CAPACITIVESENSING ELEMENTS OF SENSORS USED IN MONITORING SYSTEMS OF BUILDING STRUCTURES ..	102
Makridin N.I., Maksimova I.N., Simakov M.V. ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF CLAYDITE GRAVEL FOR HIGH STRENGTH CONCRETE.....	52	Mikhailov P.G., Sokolov A.V. SIMULATION OF SENSITIVE SENSORS OF MECHANICAL STRESS IN STRUCTURES.....	110
Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Cheryachukin V.V., Akzhigitova E.R. EFFECTIVE USE OF ORGANIC-MINERAL ADDITIVES ON MIXED-CLAY IN DRY CONSTRUCTION MIXTURES	57	Nedogovorov A.D. DEFINING ELASTIC CHARACTERISTICS OF BUILDING MATERIALS AT STRETCHING	118
		Miryayev B.V. OPTIMIZATION OF THE GEOMETRY OF RETICULATED DOMES ON THE BASIS OF ICOSAHEDRON.....	122
		Kochetkova M.V., Gusev N.I. EXPERIMENTAL AND THEORETICAL APPROACH TO CALCULATION OF PILE FOUNDATION GRILLAGE DURABILITY ...	126

Nezhdanov K.K., Zhukov A.N. THE USE OF GUNCRETE FOR PREVENTING TRUSS COVERING FALL DURING A FIRE 130	Guljaeva T.P., Grintsova O.V. R.M.RILKE ABOUT THE ART OF SCULPTURE (OGUST RODEN)..... 154
ENGINEERING SYSTEMS133	ECONOMICS AND MANAGEMENT.. 159
Averkin A.G., Eremkin A.I., Kamburg V.G. INDIRECT METHOD OF ASSESSMENT DETERMINING LINEAR SIZE OF WATER DROPS SPRAYED BY NOZZLES IN THE MECHANICAL AIR FLOW 133	Khametov T.I. , Bukin S.N. ANALYSIS OF PRACTICE IN HOUSING AND COMMUNAL SERVICE MANAGEMENT 159
Filchakina I.N., Eremkin A.I., Beregovoi A.M., Ezhov E.G. NEW RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF AIR MANIFOLD FOR THE LOCAL DISTRIBUTION OF AIR IN THE MODEL 139	Shirokov A.I. ORGANIZATION STRUCTURE OF UNFINISHED OBJECTS MARKET AND METHODS OF THEIR EVALUATION 165
Borovkov D.P., Chichirov K.O. AERODYNAMIC ASPIRATION SYSTEMS CALCULATION AT FLOW SWIRLING IN THE AIR DUCT 145	Koroljov A.A., Koroljova L.A., Grintsov D.M. THE CENTER VOLGA REGION: NATIONAL TATAR CULTURE AND GLOBALIZATION 169
ARCHITECTURE.....149	Artyomova S.F., Koroljov A.A., Koroljova L.A., Garkin I.N., Grintsov D.M. THE PENZA REGION: EVANGELICAL CHRISTIANS BAPTISTS – THE LOOK TO THE SOVIET PAST (1960 – THE FIRST HALF OF 1980) 172
Mazyavkina V.D., Kruglov Y.V. RAPID CALCULATING METHOD OF CITY TRANSPORT NETWORK EFFICIENCY ... 149	

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 692.522

*Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарева*

Россия, 430000, г. Саранск,
ул. Советская, 24,
тел./факс: (8342) 47-71-56

Селяев Владимир Павлович,
академик РААСН, доктор технических
наук, профессор, зав. кафедрой
«Строительные конструкции»
E-mail: ntorm80@mail.ru

Цыганов Виктор Владимирович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: tsyganovvv@mail.ru

Уткин Иван Юрьевич,
преподаватель кафедры «Строительные
конструкции»

*The research Mordovian State University
named after N.P. Ogarev*

Russia, 430005, Saransk, 24, Soviet St.,
tel./fax: (8342) 47-71-56

Seljaev Vladimir Pavlovich,
Academician of the Russian Academy of
Architectural and Building Science, Doctor of
Science, Professor, Head of the department
«Building designs»
E-mail: ntorm80@mail.ru

Tsyganov Victor Vladimirovich,
Candidate of Science, Associate Professor of
the department «Building designs»
E-mail: tsyganovvv@mail.ru

Utkin Ivan Jurevich,
Lecturer of the department «Building designs»

КОМБИНИРОВАННЫЕ СБОРНО-МОНОЛИТНЫЕ ПЕРЕКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК БЕЗОПАЛУБОЧНОГО ФОРМОВАНИЯ

В.П. Селяев, В.В. Цыганов, И.Ю. Уткин

Предложены варианты конструктивных решений сборно-монолитных перекрытий для жилых и общественных зданий и сооружений. Обоснованы преимущества использования их при ремонте, реконструкции зданий и в индивидуальном строительстве.

Ключевые слова: сборно-монолитное перекрытие, предварительно напряженная железобетонная балка, ремонт, конструктивное решение.

COMBINED PREFABRICATED MONOLITHIC SLABS ON THE BASIS OF NON-FORMWORK PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE BEAMS

V.P. Selyaev, V.V. Tsyganov, I.Ju. Utkin

The paper suggests constructive decisions on composite ceilings designed for residential and public buildings. The research indicates the advantages of their use in private construction, building maintenance and reconstruction.

Keywords: prefabricated monolithic slabs, prestressed reinforced concrete beam, maintenance, constructive conclusion.

Анализ проектных решений показывает, что процесс совершенствования конструкций перекрытий направлен на снижение расхода материалов за счет их рационального размещения в рабочем сечении изделия [1]. В первую очередь, это связано с пространственной работой конструкций и выводом тяжелого бетона из растянутой зоны сечения плит.

Благодаря удачному включению элементов в работу конструкций перекрытий широкое распространение в последние годы получили часторебристые сборно-монолитные перекрытия [2], которые рационально сочетают и объединяют сборные изделия с монолитным армированным или неармированным бетоном. Сборно-монолитные конструкции обеспечивают преимущества индустриального возведения перекрытий, поскольку сборные элементы изготавливают на заводах, а укладку монолитного бетона производят практически без применения опалубки.

Особенности применения сборно-монолитных перекрытий при ремонте или реконструкции зданий и сооружений заключаются в необходимости проведения работ в стесненных условиях существующей застройки, наличии существующего стенового остова. Следует отметить, что при реконструкции существующих зданий (не строительстве новых) преимущества сборных конструкций очевидны, причем в большей степени при небольших их размерах и массе.

Для нового строительства использование часторебристых сборно-монолитных перекрытий также актуально, поскольку приводит к значительной экономии энерго- и материалоресурсов, снижению трудоемкости, веса перекрытия, минимизации или полному исключению опалубочных работ, упрощению арматурных работ.

На кафедре «Строительные конструкции» Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П.Огарева совместно с ОАО «Железобетон» (г.Саранск) выполнены научно-исследовательские и проектные работы по применению сборно-монолитных часторебристых перекрытий с армирующими элементами на основе предварительно напряженных железобетонных балок. Предлагаемые нами конструктивные решения лишены многих недостатков применяемых ранее перекрытий, что подтверждено патентами Российской Федерации (патент РФ № 56912, патент РФ № 58573, патент РФ № 68545, патент РФ № 88038). В качестве элементов заполнения предлагаются различные варианты: настил из досок, металл или пластик в виде пластин или арок, а также стальные оцинкованные профилированные настилы.

Технология изготовления сборно-монолитного часторебристого перекрытия отличается достаточной простотой. Рассмотрим вариант часторебристого сборно-монолитного перекрытия с несущими элементами на основе предварительно напряженных железобетонных балок, изготовленных по технологии безопалубочного формования на линии «Тэнсиланд», со стальным оцинкованным профилированным настилом С21, произведенным согласно ТУ 1122-011-51153082-2006 ООО «Промышленный центр» (г. Саранск) (рис. 1).

В качестве несущих элементов предлагается использование железобетонных балок из бетона класса В30 и предварительно напряженной арматуры 4Ø5 Вр-I собственным весом всего 20 кг/м (табл.1). При устройстве сборно-монолитных перекрытий до укладки бетона устанавливаются арматурные каркасы К1 и сетки С1. Возможно применение сдвоенных балок [2], оправданное в случаях повышенных нагрузок.

Т а б л и ц а 1

Конструкционные характеристики предварительно напряженных железобетонных балок, изготовленных по технологии безопалубочного формования

Класс бетона	Класс арматуры	b_f , мм	b'_f , мм	h_f , мм	a' , мм	h , мм	h_0 , мм
В30	4Ø5Вр-I	110	70	35	25	110	90

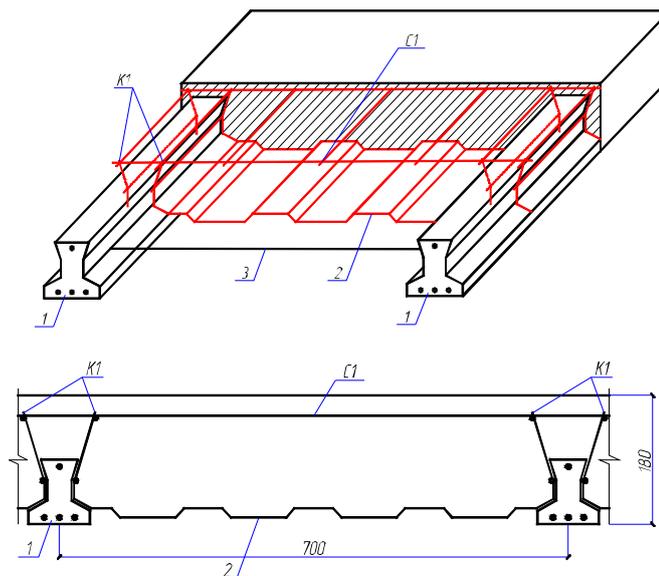


Рис. 1. Сборно-монолитное часторебристое перекрытие со стальным оцинкованным профилированным настилом:

- 1 – предварительно напряженная железобетонная балка высотой 110 мм;
 2 – стальной оцинкованный профилированный настил С21; 3 – монтажный арматурный стержень; К1 – арматурный каркас; С1 – арматурная сетка

Монтаж конструкций сборно-монолитного перекрытия осуществляют в определенном порядке. На несущие стены здания последовательно монтируются: несущие элементы – предварительно напряженные железобетонные балки с шагом 700 мм, профилированный металлический настил марки С21-1150 шириной 700 мм с операнием по контуру, выполняющий роль несъемной опалубки, проектное положение которого обеспечивают монтажные арматурные стержни периодического профиля $\varnothing 10$ класса А-III, установленные с шагом 800-1000 мм, арматурный каркас К1 и арматурная сетка С1, объединенные между собой монолитным бетоном класса В15.

При проектировании сборно-монолитных перекрытий расчет выполняют для двух стадий работы – возведения и эксплуатации.

В стадии возведения несущими конструкциями являются стальной профилированный настил и предварительно напряженные железобетонные балки. При расчете определяют его несущую способность и жесткость, как и стального тонкостенного изгибаемого элемента, работающего на нагрузку от собственной массы настила, свежееуложенного бетона и монтажной нагрузки, включающей массу оборудования и людей, занятых процессом возведения перекрытия.

При эксплуатации здания несущей конструкцией является железобетонная плита с армирующими элементами в виде предварительно напряженных железобетонных балок, стальной профилированный настил и монолитный бетон.

Расчет железобетонной плиты выполняют:

- на несущую способность по нормальным и наклонным сечениям плиты;
- на смятие ребер плиты по плоскости опор;
- по деформациям.

При расчете прочности сечений плиты необходимо:

- учитывать работу предварительно напряженных железобетонных балок, монолитного бетона и профилированного настила, считать сопротивление бетона растяжению равным нулю, а сопротивление сжатию – равным расчетному сопротивлению R_b с равномерным распределением напряжений по сжатой зоне сечения;

- рассматривать напряжения в настиле равномерно распределенными по высоте и равными расчетному сопротивлению стали с введением коэффициента условий работы $\gamma_n = 0,8$, учитывающего наличие гофра.

При расчете несущей способности нормальных сечений плиты в пролете возможны два положения нейтральной оси.

Положение 1. Нейтральная ось находится в пределах толщины полки плиты и не пересекает железобетонную балку (рис. 2).

Высоту сжатой зоны сечения плиты определяют по уравнению

$$R_b b_f x = \gamma_{s6} R_{sp} A'_{sp} + \gamma_n R_n A_n + \gamma_{s6} R_{sp} A'_{sp} - R_{sc} A'_s .$$

При расчете прочности сечения плиты должно соблюдаться условие

$$M_{span} \leq R_b b_f x (h_o - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_o - a') ,$$

где M_{span} – изгибающий момент в рассматриваемом сечении плиты, кН·м.

Положение 2. Нейтральная ось находится в пределах высоты предварительно напряженной железобетонной балки (рис. 3).

Высоту сжатой зоны плиты в первом приближении определяем из условия

$$R_b b_f x = \gamma_{s6} R_{sp} A_{sp} + \gamma_n R_n A_n - \sigma_{sc} A'_s - R_{sc} A'_s .$$

При расчете прочности сечения плиты должно соблюдаться условие

$$M_{span} \leq R_b b_f x (h_o - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_o - a') + \sigma_{sc} A'_s (h_o - a'_{sp}) .$$

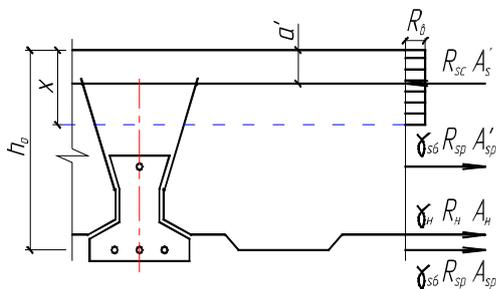


Рис. 2. Схема усилий в пролетном сечении плиты при расположении нейтральной оси в пределах толщины полки плиты

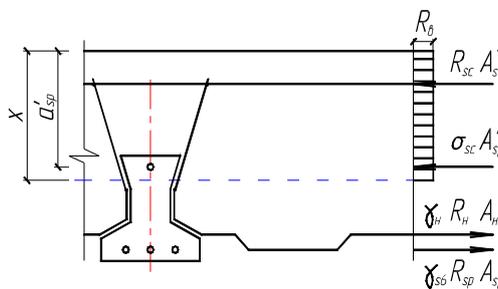


Рис. 3. Схема усилий в пролетном сечении плиты при пересечении стенки балки

Прочность сечений, наклонных к продольной оси плиты перекрытия, рассчитывают на действие поперечной силы. При этом должны соблюдаться условия:

$$Q \leq 0,17 R_n h_n 2t + \sum R_{sw} A_{sw} + Q_b ;$$

$$Q \leq 0,3 \varphi_{w1} \varphi_{b1} R_b \left(b + \frac{b'}{2} \right) h_o ,$$

где $0,17 R_n h_n 2t$ – поперечное усилие, воспринимаемое стенками настила в одном гофре; $\sum R_{sw} A_{sw}$ – сумма поперечных усилий, воспринимаемых поперечными стержнями, пересекающими наклонное сечение; Q_b – поперечное усилие, воспринимаемое бетоном; φ_{w1} и φ_{b1} – коэффициенты, принимаемые по СНиП 2.03.01-84*.

Поперечное усилие Q_b , воспринимаемое бетоном, определяют по формуле

$$Q_b = \frac{\left[\varphi_{b2} (1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} \frac{(b + b')}{2} h_o^2 \right]}{h}$$

или

$$Q_b = \frac{\left[\varphi_{b4} (1 + \varphi_n) R_{bt} \frac{(b + b')}{2} h_o^2 \right]}{h} ,$$

где $\varphi_{b_2}(1 + \varphi_f + \varphi_n)$ – коэффициенты, принимаемые по СНиП 2.03.01-84*, вводимые при наличии поперечной арматуры; $\varphi_{b_4}(1 + \varphi_n)$ – коэффициенты, принимаемые по СНиП 2.03.01-84* и вводимые при отсутствии поперечной арматуры.

Опорные концы ребер плиты рассчитываются на смятие (местное сжатие). При этом должно удовлетворяться условие

$$N \leq 0,5R_b A_{loc},$$

где N – опорная реакция на один гофр, Н; A_{loc} – площадь смятия (местного сжатия), определяемая выражением

$$A_{loc} = ba,$$

где b – ширина ребра по низу таврового сечения плиты; a – длина площадки опирания.

Прогиб плиты перекрытия рассчитывают по формуле

$$f_m = f_{rc} + f_{ad} \leq \frac{1}{150} l,$$

где f_{rc} – прогиб железобетонной плиты перекрытия от действия нагрузок в стадии эксплуатации (без учета собственной массы); f_{ad} – дополнительный прогиб железобетонной плиты вследствие податливости.

Из результатов проведенных расчетов для сборно-монолитного перекрытия с армирующими элементами на основе предварительно напряженных железобетонных балок безопалубочного формования и стальным оцинкованным профилированным настилом марки С21 видно, что предложенный вариант удовлетворяет требованиям по несущей способности и жесткости на стадиях возведения и эксплуатации (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Результаты расчета часторебристого сборно-монолитного перекрытия со стальным профилированным настилом С21

Пролет, м	Стадия возведения				Стадия эксплуатации			
	несущая способность, кг/м ²		прогиб, мм		несущая способность		прогиб, мм	
	фактическое значение	предельно допустимое	фактическое значение	предельно допустимое	Нагрузка на перекрытие, кг/м ² (сверх собственной массы)		фактическое значение	предельно допустимое
					расчетная	нормативная		
3,0	118	220	7,2	15	1250*	1050*	3,5	20
3,6	123	220	8,4	18	1250*	1050*	4,1	24
4,2	139	220	11,0	21	1250*	1050*	5,0	28
4,8	156	220	13,8	24	1000	850	5,9	32
5,4	178	220	15,1	27	800	670	6,7	36
6,0	195	220	18,9	30	600	500	8,2	40

* по несущей способности полки.

С целью изучения совместной работы сборного элемента и монолитного бетона в комбинированном перекрытии были проведены испытания:

– предварительно напряженных железобетонных балок безопалубочного формования, серия БК (конструктивные характеристики указаны в табл. 1), длиной $l = 1000$ мм [3];

– фрагментов сборно-монолитного перекрытия в виде составных балок размером $b \times h \times l = 220 \times 220 \times 1000$ мм с армирующими элементами на основе предварительно напряженных железобетонных балок безопалубочного формования, серия БС (рис.4).

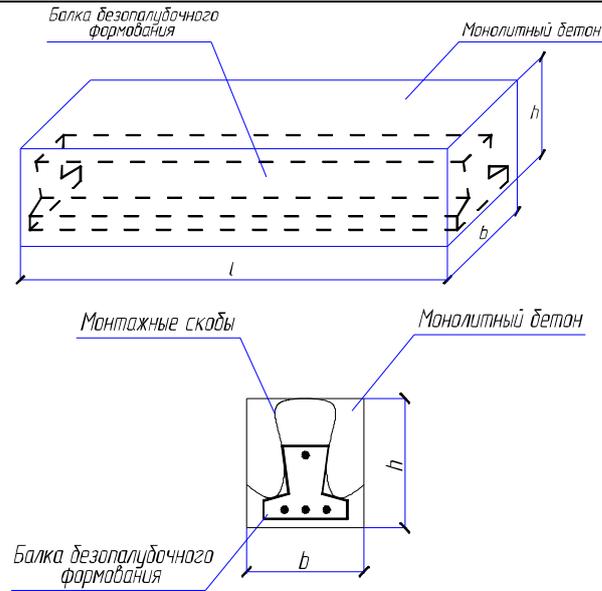


Рис. 4. Фрагмент сборно-монолитного перекрытия в виде составной балки из монолитного бетона и армирующего элемента на основе предварительно напряженной железобетонной балки безопалубочного формования

Сравнительный анализ результатов испытаний показал (рис. 5, табл.3), что вследствие совместной работы сборных элементов и монолитного бетона трещиностойкость и жесткость конструкций комбинированных сборно-монолитных перекрытий значительно повышаются. Трещин по линии контакта сборного и монолитного бетона не было замечено до разрушения образцов. Дополнительные растягивающие усилия воспринимаются поперечными арматурными стержнями и металлическим настилом сборно-монолитного перекрытия.

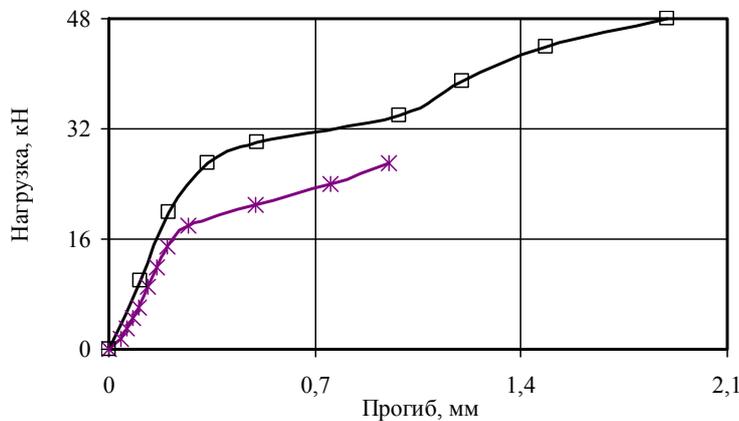


Рис. 5. Зависимость прогиба элементов сборно-монолитного перекрытия от величины прикладываемой нагрузки для серий балок:
 * – БК; □ – БС

Т а б л и ц а 3

Сравнительный анализ результатов испытаний элементов конструкций

Серия	Нагрузка, соответствующая моменту трещинообразования, кН	Разрушающая нагрузка, кН	Прогиб в момент трещинообразования, мм	Прогиб в момент разрушения, мм
БК	18,5	27,0	0,275	0,95
БС	29,5	48,0	0,495	1,89

Малый собственный вес сборных элементов перекрытий позволяет решать задачи реконструкции без дополнительного усиления вертикальных несущих конструкций, фундамента или основания. Кроме этого при устройстве перекрытий возможны доставка сборного элемента к месту и его монтаж вручную или с использованием легких подъемников.

Важным для практики строительства и реконструкции является решение задачи оптимизации сечений и размеров составных элементов перекрытия в зависимости от пролета, шага вертикальных несущих элементов и величины полезной нагрузки. Указанная задача успешно решается в предлагаемых сборно-монолитных часторебристых перекрытиях благодаря применению предварительно напряженных железобетонных балок, изготовленных по технологии безопалубочного формования, позволяющей получать несущие элементы любых типоразмеров пролетов до 6 метров.

Разработанные перекрытия обладают достаточной несущей способностью, жесткостью и трещиностойкостью, их рекомендуется применять при возведении жилых и общественных зданий в широком диапазоне нагрузок при нестандартных шагах и пролетах конструкций, большого числа проемов и отверстий, при реконструкции зданий и устройстве рабочих площадок.

Список литературы

1. Селяев, В.П. Конструктивные решения сборно-монолитных перекрытий для реконструируемых зданий и сооружений / В.П. Селяев, В.В. Цыганов, В.Л. Агушев, Г.В. Цыганов // Актуальные вопросы строительства: мат-лы Международ. науч.-техн. конф.: в 2 ч. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2008. – Вып. 7, ч.2. – С. 313–317.
2. Агушев, В.Л. Сборно-монолитные перекрытия с армирующими элементами на основе предварительно напряженных железобетонных балок / В.Л. Агушев, В.П. Селяев, В.В.Цыганов // Наука и инновации в Республике Мордовия: материалы V Республиканской науч.-прак. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2006. – С. 288–292.
3. Цыганов, В.В. Натурные испытания предварительно напряженных железобетонных балок безопалубочного формования / В.В. Цыганов, Г.В. Цыганов // XXXVI Огаревские чтения: мат-лы науч. конф.: в 3 ч. Технические науки. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2008. – Ч. 3. – С. 39–41.

References

1. Selyaev, V.P. Constructive solutions of prefabricated monolithic slabs for reconstruction of buildings and structures / V.P. Selyaev, V.V. Tsyganov, V.L. Agushev, G.V. Tsyganov // Actual construction issues. Materials of Intern. scientific.-technical. conf.: in Part 2. – Saransk: Publisher Mordovia State University, 2008. – № 7, part 2. – P. 313–317.
2. Agushev, V.L. Precast-monolithic slabs with reinforcing elements on the basis of pre-stressed concrete beams / V.L. Agushev, V.P. Selyaev, V.V. Tsyganov // Science and Innovation in the Republic of Mordovia: materials V Republican scientific.-technical. conf. – Saransk: Publisher Mordovia State University, 2006. – P. 288–292.
3. Tsyganov, V.V. Field tests on non-formwork of pre-stressed concrete beams / V.V. Tsyganov, G.V. Tsyganov // XXXVI Ogarevsky reading: materials of scientific.-technical. conf.: in Part 3. Engineering. – Saransk: Publisher Mordovia State University, 2008. – Part 3. –P. 39–41.

*Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева*

Россия, 430006, г. Саранск,
ул. Большевистская, д. 68,
тел.: (8342)47-71-56; факс: (8342)47-71-56

Селяев Владимир Павлович,

Президент Научно технического общества
строителей Республики Мордовия,
академик РААСН, доктор технических
наук, профессор, зав. кафедрой
«Строительные конструкции»
E-mail: ntorm80@mail.ru

Селяев Павел Владимирович,

кандидат технических наук, доцент
E-mail: ntorm80@mail.ru

Сорокин Евгений Вячеславович,

преподаватель кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: evssar80@mail.ru

Колотушкин Алексей Владимирович,

аспирант кафедры «Строительные
конструкции»

Кечуткина Евгения Львовна,

студент

*The Mordvian State University named
after N.P.Ogaryov*

Russia, 430006, Saransk,
68, Bolshevistskaya St.,
tel.: +7(8342)47-71-56; fax: +7(8342)47-71-56

Seljaev Vladimir Pavlovich

President of Scientific and Technical Society of
the Mordovia Republic, Academician of the
Russian Academy of Architectural and Building
Science, Doctor of Science, Professor, Head of
the department «Building designs»
E-mail: ntorm80@mail.ru

Selyaev Pavel Vladimirovich,

Candidate of Science, Associate professor
E-mail: ntorm80@mail.ru

Sorokin Evgeny Vyacheslavovich,

Lecturer of the department «Building designs»
E-mail: evssar@mail.ru

Kolotushkin Aleksey Vladimirovich,

Postgraduate of the department «Building
designs»

Kechutkina Evgenya L'vovna,

student

ВЛИЯНИЕ СИЛ ТРЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА

В.П. Селяев, П.В. Селяев, Е.В. Сорокин, А.В. Колотушкин, Е.Л. Кечуткина

Установлено, что прочность бетонов на сжатие зависит от величины коэффициента трения (бетона о бетон). Показано, что в зависимости от изменения величины от 0,2 до 0,8 отношение прочности бетона при сжатии к прочности при растяжении может меняться в пределах от 5 до 20, что соответствует экспериментальным и расчетным данным. Экспериментально установлено, что коэффициент трения бетона о бетона может изменяться в пределах от 0,5 до 0,9 и его величина зависит от класса бетона по прочности на сжатие.

Ключевые слова: коэффициент трения, прочность, трещина, нормальные напряжения, касательные напряжения.

FRICTION INFLUENCE ON CONCRETE STRENGTH

V.P. Selyaev, P.V. Selyaev, E.V. Sorokin, A.V. Kolotushkin, E.L. Kechutkina

It is estimated that compressive strength of concrete depends on the friction coefficient (concrete on concrete). It is shown that, when its value changes from 0,2 to 0,8 the ratio of concrete compressive strength can vary from 5 to 20 and it corresponds to experimental and calculated data. It is experimentally proved that friction coefficient of concrete can change from 0,5 to 0,9 and this value depends on the grade of concrete compressive strength.

Keywords: coefficient of friction, strength, crack, normal stress, tangential stress.

Бетоны относятся к материалам, прочность которых зависит от дефектов структуры. В бетоне еще до приложения нагрузки имеются структурные дефекты: макрополости; микрополости; ослабленные участки контактов цементного камня с поверхностью заполнителя; контакты заполнителей без прослойки цементного камня; поры различного уровня. Размеры дефектов и их расположение, ориентация в пространстве (координаты, углы) являются величинами случайными. Однако можно пред-

положить, что каждому классу бетона по прочности соответствует размер наиболее опасного дефекта определенного значения. От величины именно этого дефекта зависит прочность бетона при сжатии и растяжении. Известно, что у бетонов временные сопротивления сжатию и растяжению отличаются в 10÷30 раз. Для объяснения этого явления принято рассматривать модель в виде тонкой пластины с трещиной определенной длины 2ℓ , наклонённой под углом Θ к вертикальной оси. К пластине приложены напряжения σ_1 и σ_3 (рис.1).

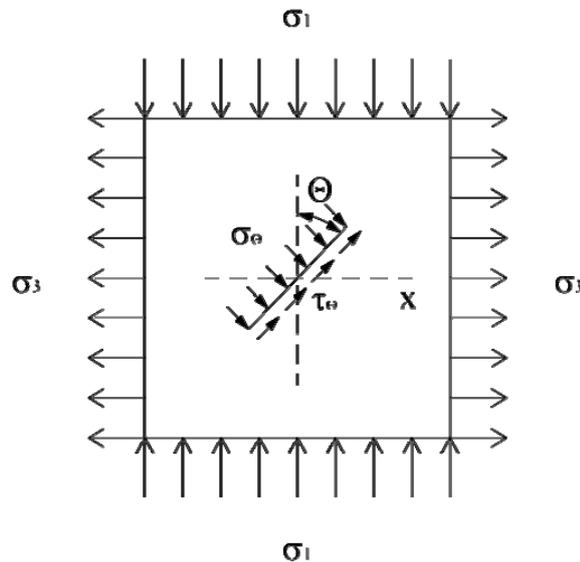


Рис. 1. Расчетная модель бетона с трещиной

По теории Кулона – Навье, разрушение произойдет в том случае, когда касательные напряжения τ_θ , действующие в плоскости разрушения, достигнут величины

$$\tau_\theta = S_0 + \gamma\sigma_\theta, \quad (1)$$

где s_0 – когезионная прочность матрицы при сдвиге; γ – коэффициент трения между поверхностями трещины; σ_θ – нормальные напряжения, увеличивающие трение.

Хук и Бенявский [1] предложили нормальные σ_θ и касательные τ_θ напряжения на границе контура трещины определять по формулам

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\theta; \quad (2)$$

$$\tau_\theta = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\theta. \quad (3)$$

Тогда уравнение (1) можно записать в следующем виде:

$$\tau_\theta = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\theta = S_0 + \gamma \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \gamma \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\theta. \quad (4)$$

Из уравнения (4) находим S_0 :

$$S_0 = -\gamma \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)(\sin 2\theta - \gamma \cos 2\theta). \quad (5)$$

Исследуя функцию (5) на экстремум, получаем, что минимум функции S_0 будет достигнут, когда $\cos 2\theta + \gamma \sin 2\theta$ или $\text{tg} 2\theta = -\frac{1}{\gamma}$; или $\gamma = -\frac{1}{\text{tg} 2\theta}$.

Тогда минимальное значение функции S_0 будет иметь вид:

$$S_{0\min} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2 \operatorname{tg} 2\theta} + \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)(\sin 2\theta - \gamma \cos 2\theta). \quad (6)$$

Простыми преобразованиями можно показать, что

$$\sin 2\theta + \frac{1}{\operatorname{tg} 2\theta} \cos 2\theta = \sqrt{1 + \gamma^2}. \quad (7)$$

С учетом формулы (7) выразим $S_{0\min}$ через γ :

$$S_{0\min} = \frac{\sigma_1}{2}(\sqrt{1 + \gamma^2} - \gamma) + \frac{\sigma_3}{2}(\sqrt{1 + \gamma^2} + \gamma). \quad (8)$$

Если в формуле (8) принять $\sigma_1 = 0$, то σ_3 – временное сопротивление при растяжении R_{bt} – будет равно:

$$R_{bt} = \sigma_1 = \frac{2S_{0\min}}{\sqrt{1 + \gamma^2} + \gamma}. \quad (9)$$

Если в формуле (8) $\sigma_3 = 0$, то $\sigma_1 = R_b$ определим по формуле

$$R_b = \sigma_1 = \frac{2S_{0\min}}{\sqrt{1 + \gamma^2} - \gamma}. \quad (10)$$

Поделив формулу (10) на формулу (9), найдем соотношение прочностей при сжатии и растяжении в зависимости от коэффициента трения:

$$\frac{R_b}{R_{bt}} = \frac{\sqrt{1 + \gamma^2} + \gamma}{\sqrt{1 + \gamma^2} - \gamma}. \quad (11)$$

Для $\gamma = 1$ это отношение равно 6. Формула (11), получившая в литературе название критерия Кулона – Навье, дает заниженные значения отношения прочностей. Это можно объяснить тем, что модель основана на представлении об одной, общей при сжатии и растяжении трещине разрушения. В реальном материале имеется множество трещин различных размеров с различной ориентацией в пространстве.

Предположим, что для каждого материала характерны трещины разрушения определенного размера. Эти трещины расположены под различными углами к вертикальной оси (рис.2).

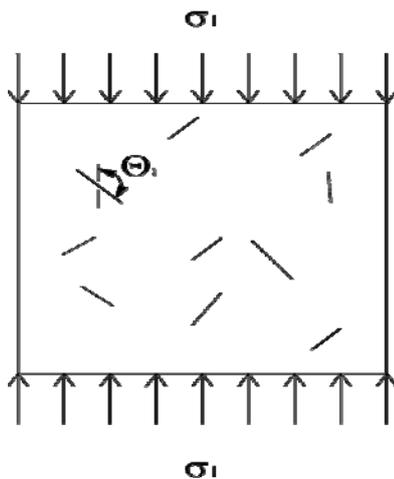


Рис. 2. Расчетная модель бетона со случайным расположением трещин

В общем случае, когда начальная трещина размером 2ℓ расположена под произвольным углом θ к вертикальной оси (см. рис.1), прочность на растяжение можно определить по формуле вида

$$\sigma_p = \frac{k_1}{\sqrt{\pi\ell} f_{1k}}; \quad (12)$$

функция $f_{1k} = \sin^2 \theta$. Так как $f_{1k} = 1$ при $\theta = 90^\circ$, то именно трещина, расположенная под этим углом, будет определять величину прочности или временного сопротивления материала при растяжении:

$$R_{bt} = \sigma_p = \frac{k_1}{\sqrt{\pi\ell_0}}. \quad (13)$$

Если на структурный элемент действуют сжимающие напряжения, то разрушение произойдет при выполнении условия (1) Кулона – Навье.

При одноосном нагружении разложим сжимающие напряжения σ на нормальные σ_θ и касательные τ_θ к плоскости трещины:

$$\sigma_\theta = \sigma \sin^2 \theta; \quad \tau_\theta = 0,5 \sigma \sin 2\theta. \quad (14)$$

Прочность при сдвиге s_0 определим по формуле

$$\tau = S_0 = \frac{k_2}{\sqrt{\pi\ell} f_{2k}}. \quad (15)$$

Так как $f_{2k} = 0,5 \sin 2\theta$, то формула (15) примет вид:

$$s_0 = \frac{k_2}{\sqrt{\pi\ell} 0,5 \sin 2\theta}. \quad (16)$$

Подставив значения S_0 , τ_θ и σ_θ в уравнение (1), получим:

$$R_b = \sigma = \frac{k_2}{\sqrt{\pi\ell} 0,5 \sin 2\theta (\sin 2\theta + \gamma \sin^2 \theta)}. \quad (17)$$

Анализ формулы (10) показывает, что наиболее опасная трещина в бетоне располагается под углом $\theta = 45^\circ$. Тогда прочность на сжатие будет определяться из выражения

$$R_b = \frac{4k_2}{\sqrt{\pi\ell} (1-\gamma)}. \quad (18)$$

Разделив функцию (18) на функцию (13), получим выражение, из которого следует, что прочность бетона на сжатие больше прочности на растяжение, и это соотношение зависит от коэффициента трения:

$$\frac{R_b}{R_{bt}} = \frac{4k_2}{k_1 (1-\gamma)} = k \frac{4}{(1-\gamma)}. \quad (19)$$

В формуле (19) коэффициенты k_1 и k_2 – константы материала, и в первом приближении можно принять $k_2 = k_1$ или k_1 .

Брейс предложил отношение прочностей при сжатии и растяжении выражать функцией вида

$$\frac{R_b}{R_{bt}} = \frac{4}{\sqrt{1+\gamma^2} - \gamma}. \quad (20)$$

При выводе формулы (20) рассматривалась модель, представленная на рис. 1. Было получено уравнение вида (8), в котором S_0 , по предложению Марелла, следует определять по формуле

$$S_0 = 2T_0 (1 + \sigma_\theta / T_0)^{1/2} - 2\gamma\sigma_\theta, \quad (21)$$

где $T_0 = R_{bt}$

Брейс предположил, что величина σ_θ мала и ею можно пренебречь. Тогда, принимая $\sigma_1 = R_b$, $\sigma_3 = 0$, получим формулу (20).

Недостатком этой модели является то, что при сжатии и растяжении рассматривается одна и та же трещина. Однако исследования показывают, что наиболее неблагоприятной ориентацией трещины является: расположение её под углом 90° при растяжении и 45° – при сжатии к направлению прикладываемого одноосного напряжения.

Экспериментальными исследованиями установлено, что коэффициент трения для горных пород находится в пределах от 0,1 до 1,0, а величина коэффициента зависит от класса бетона по прочности на сжатие, влажности бетона, силы давления и находится в пределах от 0,5 до 0,8 трения бетона о бетон. Экспериментальные данные определения коэффициента трения для бетона приведены в табл.1, 2, 3.

Т а б л и ц а 1

Коэффициент трения скольжения «бетон–бетон» по экспериментальным данным

Класс бетона Груз, кг	B25	B30	B40	B50	B50
0	0,502	0,551	0,592	0,624	0,635
3	0,521	0,603	0,613	0,675	0,648
5	0,528	0,617	0,620	0,679	0,655
8	0,528	0,618	0,626	0,679	0,660
Среднее	0,520	0,597	0,613	0,664	0,649

Т а б л и ц а 2

Коэффициент трения скольжения «бетон–бетон» (сухие образцы)

Груз, кг	K_1	K_2	K_3
1,5	0,691	0,698	0,624
3	0,680	0,692	0,698
5	0,710	0,657	0,657
8	0,650	0,688	0,688
Среднее	0,683	0,684	0,667

$$K_{тр.ср} = 0,678.$$

Т а б л и ц а 3

Коэффициент трения «бетон–бетон» (водонасыщенные образцы)

Груз, кг	K_1	K_2	K_3
1,5	0,756	0,779	0,790
3	0,779	0,720	0,792
5	0,782	0,710	0,771
8	0,754	0,756	0,749
Среднее	0,768	0,741	0,775

$$K_{тр.ср} = 0,761.$$

Известно, что отношение прочности на сжатие к прочности на растяжение для цементных бетонов колеблется в пределах от 7 до 22, коэффициент трения при этом изменяется в пределах от 0,4 до 0,8 (рис.3). Результаты получены в соответствии с данными СНиП 2.03.01.-84*, экспериментально (кривая 7 на рис.3) и по формуле (19).

В табл. 4 приведены значения R_b/R_{bt} , полученные путем вычислений по формулам (11), (20), (19) при изменении коэффициента трения в пределах от 0 до 1,0.

Сопоставление расчетных значений R_b/R_{bt} , полученных по формулам (12), (13) и (14)

№ п/п	Определение R_b/R_{bt}	Значения коэффициента трения γ					
		0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1	11	1	1.49	2.18	3.1	4.3	6
2	20	4	4.88	5.88	7.0	8.33	10
3	19	4	5	6.7	10	20	∞

Расчетные данные, представленные в табл. 4 и на рис. 3, позволяют сделать вывод о том, что формула (19) при изменении γ в пределе от 0 до 1 достоверно отражает зависимость соотношения прочностей R_b/R_{bt} от коэффициента трения.

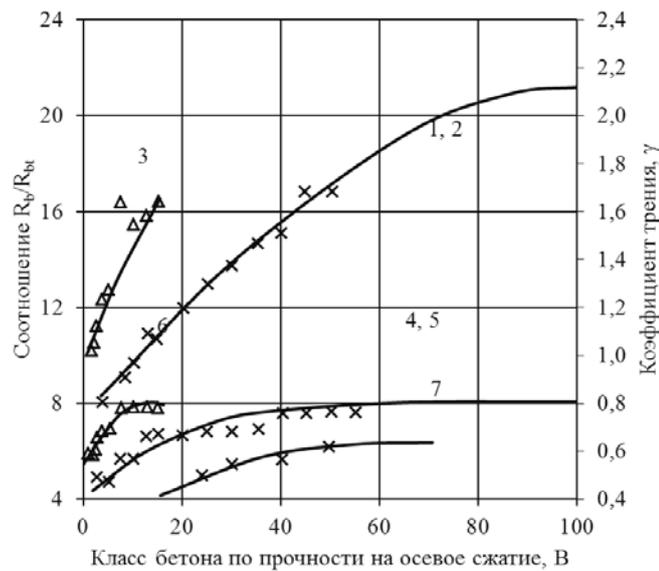


Рис. 3. Изменение соотношения R_b/R_{bt} (1, 2, 3) и коэффициента трения γ (4, 5, 6) от класса бетона:
 1, 2 – тяжелый, мелкозернистый, легкий; 3 – ячеистый (по данным СНиП 2.03.01-84*);
 4, 5 – тяжелый, мелкозернистый, легкий; 6 – ячеистый (по формуле (19) при $k = 1$);
 7 – по экспериментальным данным

При этом коэффициент трения между поверхностями не является коэффициентом внутреннего трения. Между ними возможна корреляция, но это предмет отдельного исследования.

Итак, в результате проведенных исследований установлено:

- прочность бетонов на сжатие зависит от величины коэффициента трения γ (бетона о бетон). Показано, что в зависимости от изменения величины γ от 0,2 до 0,8 отношение прочности бетона при сжатии к прочности при растяжении может меняться в пределах от 5 до 20, что соответствует экспериментальным и расчетным данным;
- экспериментально установлено, что коэффициент трения бетона о бетон может изменяться в пределах от 0,5 до 0,9, и его величина зависит от класса бетона по прочности на сжатие.

Список литературы

1. Hoek, E. Proceedings of the 1st Congress of the International Society on Rock Mechanics / E. Hoek, Z.T. Bieniawski. – Lisbon, 1966. – Vol.1. – P.243–249.
2. Brace W.F. International Conference on the State of Stress Earth / W.F. Brace. – New York: Elsevier, 1964. – P.110–178.
3. Murell, S. A.F. Proceedings of the 5 the Rock Mechanics Symposium / S.A.F. Murell. – New York, 1963. – P. 563-577.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Макридин Николай Иванович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»

Скачков Юрий Петрович,
доктор технических наук, профессор,
советник РААСН, ректор, профессор
кафедры «Строительные конструкции»

Максимова Ирина Николаевна,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Стандартизация, сертификация
и аудит качества»

E-mail: maksimovain@mail.ru

Суров Иван Александрович,
аспирант кафедры «Технологии
строительных материалов и
деревообработки»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Makridin Nikolay Ivanovich,
Doctor of Science, Professor
of the department «Technologies of building
materials and wood processing»

Skachkov Yuri Petrovich,
Doctor of Science, Professor, Adviser of the
Russian Academy of Architectural and
Building Science, Rector, Professor of the
department «Building designs»

Maksimova Irina Nikolaevna,
Candidate of Science, Associate Professor
of the department «Standartization,
certification, quality audit»

E-mail: maksimovain@mail.ru

Surov Ivan Aleksandrovich,
Postgraduate of the department «Technologies
of building materials and wood processing»

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ БЕТОНА ИЗ ГОРНЫХ ПОРОД

Н.И. Макридин, Ю.П. Скачков, И.Н. Максимова, И.А. Суров

Представлены результаты анализа экспериментально полученных параметров конструкционной прочности каменных материалов, используемых в качестве заполнителей для бетонов.

Ключевые слова: заполнители для бетона, горные породы, механическое поведение, комплексная оценка.

INTEGRATED ASSESSMENT OF CONCRETE ROCK FILLERS MECHANICAL BEHAVIOUS

N.I. Makridin, Y.P. Skachkov, I.N. Maksimova, I.A. Surov

The analysis results of experimentally obtained parameters of rock materials structural strength used as concrete fillers are presented in the article.

Keywords: fillers for the concrete, the rocks, mechanical behavior, the integrated assessment.

В соответствии с подходом механики разрушения композитных материалов реальная прочность материала связывается с его энергией разрушения, модулем упругости и размером дефекта структуры, обуславливающим начало разрушения. При этом предсказано теоретически и показано экспериментально влияние дисперсной фазы на три указанных выше фактора, от которых зависит прочность [1].

Важнейшим параметром механического поведения структуры материалов конструкционного назначения является трещиностойкость (вязкость разрушения), характеризующая способность материала тормозить развитие дефектов структуры и предохраняющая способность материала как противостоять хрупкому разрушению, так и сопротивляться развитию постепенного разрушения в течение заданного времени [2–4].

В этой связи оценка параметров механического поведения горных пород, используемых в качестве заполнителей (дисперсной фазы) для бетонов, влияющих на фактор реальной прочности цементного композита, представляет не только теоретический интерес, но и большую практическую ценность, так как в задаче выбора заполнителей, особенно для бетонов нового поколения, эти вопросы весьма слабо освещены в специальной литературе.

Для исследования были изготовлены опытные образцы следующих размеров: 24×60×300 мм из гранита; 23×43×340 мм из известняка; 20×50×300 мм из мрамора; 40×40×200 мм из туфа. Из каждого материала было изготовлено по 15 образцов-близнецов.

На каждом образце последовательно определяли динамический модуль упругости E_d и коэффициент внутреннего трения $K_{вт}$ с помощью прибора ИКВТ-2; предельную деформативность ϵ_c и $\epsilon_{п}$ растянутой зоны образца при изгибе с помощью тензодатчиков базой 30 мм и измерителя деформаций АИД-1М; условный критический коэффициент интенсивности напряжений K_c^* при неравновесных механических испытаниях на изгиб образцов типа I по методике линейной механики разрушения с использованием разрывной машины типа F-1000; акустическую эмиссию образцов на кривой нагружения с помощью специального акустико-эмиссионного устройства [5] в полосе частотного диапазона 50...150 кГц; энергию разрушения G ; предел прочности на растяжение при изгибе $R_{рн}$.

Подготовку образцов и их испытание для оценки перечисленных характеристик проводили в соответствии с методическими рекомендациями по измерению коэффициента внутреннего трения и динамического модуля упругости с помощью прибора типа ИКВТ-2 [5] и ГОСТ 29167. Нагружение образцов производили ступенями в 0,1 ожидаемой прочности на растяжение при изгибе, на каждой ступени нагружения образцы выдерживали в течение 1...1,5 мин для записи показаний приборов или до полного прекращения акустического излучения. Скорость движения подвижного захвата во всех опытах была одинаковой и составляла $166 \cdot 10^{-7}$ м/с. С целью получения хорошего акустического контакта преобразователь АЭ прижимался с постоянным усилием к торцовой поверхности образца-призмы через тонкий слой петролатумной смазки. В данной работе в качестве информативных параметров АЭ при изучении трещиностойкости горных пород приняты суммарная энергия импульсов АЭ на диаграмме нагружения опытных образцов и дифференциальное приращение энергии импульсов АЭ на этапах нагружения. Метод АЭ является наиболее надежным методом определения нагрузки F_c^* , соответствующей динамическому началу движения магистральной трещины при неравновесных механических испытаниях, которая используется для оценки силового критерия вязкости разрушения – критического коэффициента интенсивности напряжений – K_c^* .

В основу методики оценки силовых и энергетических критериев разрушения положены рекомендации ГОСТ 29167 с использованием метода акустической эмиссии (АЭ) для оценки самого процесса разрушения опытных образцов в реальном масштабе времени.

В таблице приведены средние арифметические значения структурно-механических параметров горных пород, полученные в процессе исследования.

Параметры конструкционной прочности горных пород

Параметры	Горная порода			
	гранит	известняк	мрамор	туф
Плотность, г/см ³	2,78	2,44	2,73	1,70
Прочность $R_{\text{пр}}$, МПа	15,57	8,11	23,47	6,52
Коэффициент изменчивости $R_{\text{пр}}$, %	3,5	4,9	4,3	5,2
Динамический модуль упругости, $E_{\text{д}}$, МПа	40840	34120	89780	11830
Коэффициент изменчивости $E_{\text{д}}$, %	12,8	12,1	7,0	15,4
Коэффициент внутреннего трения, $K_{\text{вт}}$	0,01224	0,00519	0,00192	0,00320
Коэффициент изменчивости $K_{\text{вт}}$, %	15,6	11,8	16,6	26,0
Деформативность растянутой зоны ϵ_c при достижении нагрузки F_c^* , мм/м	0,13	0,87	0,10	0,21
Предельная деформативность растянутой зоны, $\epsilon_{\text{п}}$, при нагрузке F_c^* , мм/м	0,36	1,07	0,30	0,31
Условный критический коэффициент интенсивности напряжений, K_c^* , МПа·м ^{0,5}	1,270	0,785	1,684	0,614
Коэффициент изменчивости K_c^* , %	5,8	6,3	5,7	7,8
Энергия разрушения G_c при достижении нагрузки F_c^* и деформативности ϵ_c , Дж/м ²	138	401	93,8	109,4
Энергия разрушения $G_{\text{п}}$ при нагрузке F_c^* и достижении предельной деформативности $\epsilon_{\text{п}}$, Дж/м ²	296	753	281	161,5
Суммарная энергия АЭ, $\mathcal{E}_{\text{АЭ}}$, при достижении нагрузки F_c^* и деформативности ϵ_c , В ² /см ²	0,255	0,022	0,129	0,388
Суммарная энергия АЭ, $\mathcal{E}_{\text{АЭ}}$, при нагрузке F_c^* и достижении предельной деформативности $\epsilon_{\text{п}}$, В ² /см ²	3,133	0,394	0,577	0,697

Силовую характеристику трещиностойкости для образцов типа I при трехточечном изгибе, $R_{\text{пр}}$, вычисляли по формуле:

$$R_{\text{пр}} = \frac{3F_c^* \cdot L}{2t \cdot b^2 \cdot (1-\lambda)^2},$$

где F_c^* – максимальная (разрушающая) нагрузка, Н; L – расстояние между опорами, м; t и b – ширина и высота сечения, м; $\lambda = a/b$ – относительная длина надреза.

Динамический модуль упругости, $E_{\text{д}}$, определяли по формуле [6]:

$$E_{\text{д}} = 0,965 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{l}{b}\right)^3 \cdot \frac{P \cdot f^2}{a} \cdot T,$$

где l , b , a – соответственно, длина, высота, ширина образца, см; P – масса образца, г; f – резонансная частота колебаний изгиба, Гц; T – коэффициент, учитывающий

размер образца ($T=1,07\dots 1,2$); $0,965 \cdot 10^{-6}$ – коэффициент, учитывающий основной вид колебаний образца и размерность выбранных единиц измерения.

Коэффициент внутреннего трения определяли по формуле [6]:

$$K_{\text{вт}} = \frac{\Delta f}{\sqrt{3f}},$$

где Δf – ширина резонансной характеристики образца на уровне половины максимальной амплитуды изгибных колебаний по обе стороны от резонанса.

Условный критический коэффициент интенсивности напряжений, K_c^* , определяли по зависимости [7]:

$$K_c^* = \frac{3F_c^* \cdot L_0}{2b^{3/2} \cdot t} \cdot \sqrt{\frac{a_0}{b}} \cdot (1,93 - 3,07\lambda + 14,53\lambda^2 - 25,11\lambda^3 + 25,8\lambda^4),$$

где F_c^* – критическая нагрузка начала движения трещины; L_0 – расстояние между опорами, равное $3,8b$; b – высота образца; t – ширина образца; a_0 – глубина надреза; $\lambda = a_0/b$.

Энергетические характеристики трещиностойкости G_c , Дж/м², определяли по формуле $G = A/S$, где A – полная работа разрушения, Дж; S – площадь разрушения, м². В свою очередь, $A = F_c^* \cdot \epsilon_c(\epsilon_n)$, где ϵ_c и ϵ_n – соответственно, деформативность растянутой зоны ϵ_c и предельная деформативность ϵ_n .

Суммарную энергию акустической эмиссии $\mathcal{E}_{\text{АЭ}}$ как критерий трещиностойкости образцов, В²·см⁻², определяли по [5] путем отношения зафиксированной акустико-эмиссионным устройством энергии $\mathcal{AЭ}$, $\mathcal{E}_{\text{АЭ}}$, В², при нагружении образца до деформации ϵ_c и ϵ_n к поверхности его разрушения, S , см².

Коэффициент изменчивости $R_{\text{ри}}$ находился в пределах от 3,5 % – у гранита до 5,2 % – у туфа; E_d – от 7 % у мрамора до 15,4 % у туфа; K_c^* – от 5,7 % у мрамора до 7,8 % у туфа; а коэффициент изменчивости $K_{\text{вт}}$ составлял 11,8 % у известняка, 15,6 % у гранита, 16,6 % у мрамора и 26,0 % у туфа, то есть наиболее изменчивым свойством обладал $K_{\text{вт}}$, характеризующий кристаллохимическое качество микроструктуры материала.

Анализируя экспериментальные результаты, приведенные в таблице, следует отметить, что наибольшие значения динамического модуля упругости показали образцы из мрамора. Образцы из мрамора показали и наибольшие значения $R_{\text{ри}}$ и K_c^* . Что касается значений $K_{\text{вт}}$, являющегося мерой внутреннего трения реальных материалов, то он оказался самым высоким у образцов из гранита, а самым низким – из мрамора. Это значит, что гранит обладает лучшей способностью необратимо превращать в теплоту механическую энергию, сообщенную ему в процессе деформирования. Другими словами, доля плотности энергии микропластических деформаций в зоне образующейся новой поверхности в общей эффективной поверхностной энергии материала на порядок выше у образцов гранита, чем у образцов сравниваемых пород.

Образцы известняка показали наибольшую растяжимость и достаточно плавный характер кривой деформирования. Образцы же гранита, мрамора и туфа показали предельную растяжимость при изгибе в два раза меньше, чем у известняка. При этом кривые деформирования образцов гранита, мрамора и туфа отличаются более крутым изломом кривых в сторону оси напряжений перед разрушением образцов.

На рис. 1–4 представлены амплитудно-энергетическое распределение суммарной энергии импульсов $\mathcal{AЭ}$ и дифференциальное приращение энергии импульсов $\mathcal{AЭ}$ на

этапах нагружения опытных образцов. Из анализа суммарной энергии импульсов АЭ и дифференциального приращения энергии импульсов АЭ на диаграммах нагружения следует, что излучение акустических волн напряжений, вызванное внутренней динамической перестройкой структуры материала (под воздействием механической нагрузки горных пород), имеет существенное качественное и количественное различие.

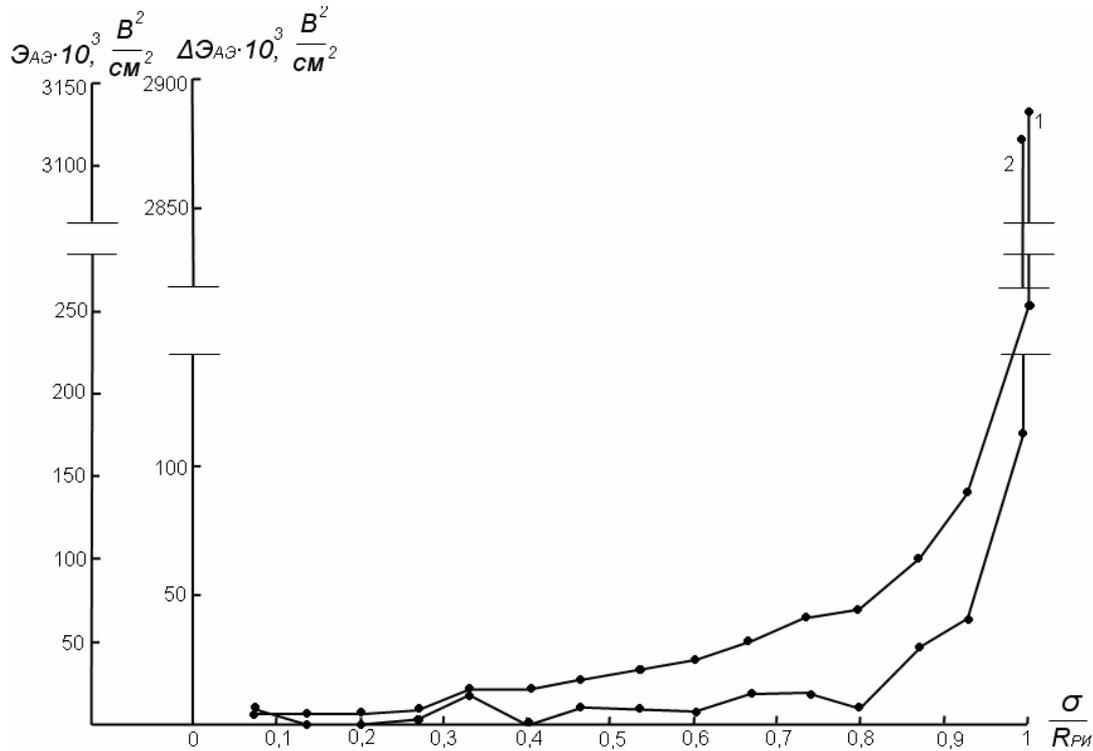


Рис. 1. Зависимость энергии акустической эмиссии $\mathcal{E}_{АЭ}$ (1) и дифференциального приращения энергии акустической эмиссии $\Delta \mathcal{E}_{АЭ}$ (2) гранита от интенсивности нагружения образцов типа I по ГОСТ 29167 при трёхточечном изгибе

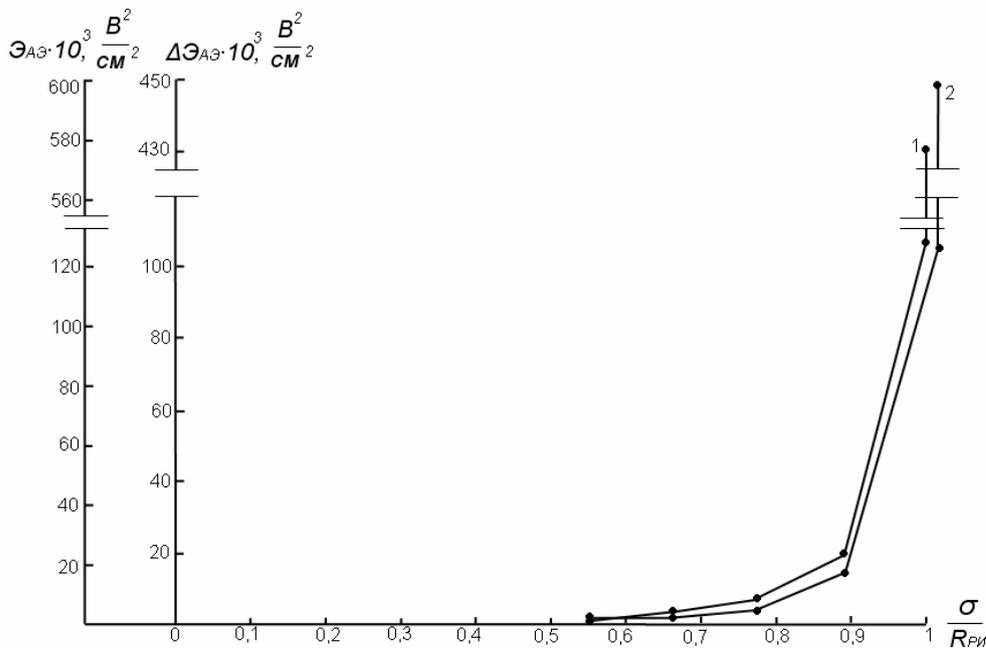


Рис. 2. Зависимость энергии акустической эмиссии $\mathcal{E}_{АЭ}$ (1) и дифференциального приращения энергии акустической эмиссии $\Delta \mathcal{E}_{АЭ}$ (2) мрамора от интенсивности нагружения образцов типа I по ГОСТ 29167 при трёхточечном изгибе

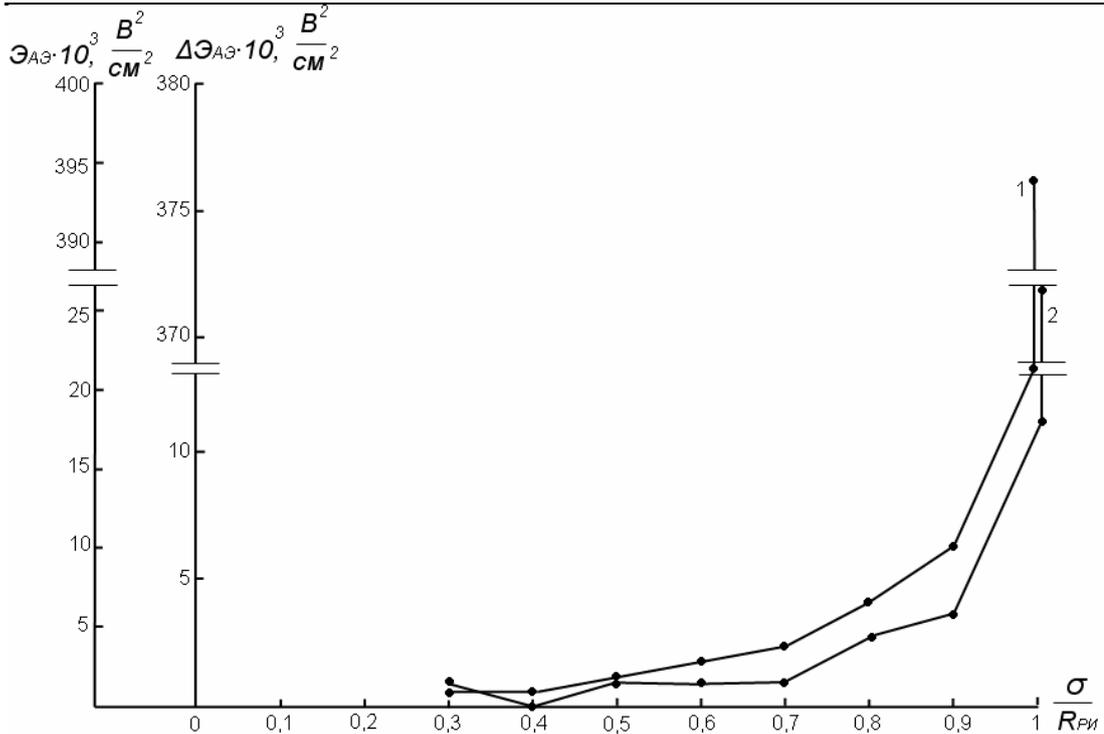


Рис.3. Зависимость энергии акустической эмиссии $E_{AЭ}$ (1) и дифференциального приращения энергии акустической эмиссии $\Delta E_{AЭ}$ (2) известняка от интенсивности нагружения образцов типа I по ГОСТ 29167 при трёхточечном изгибе

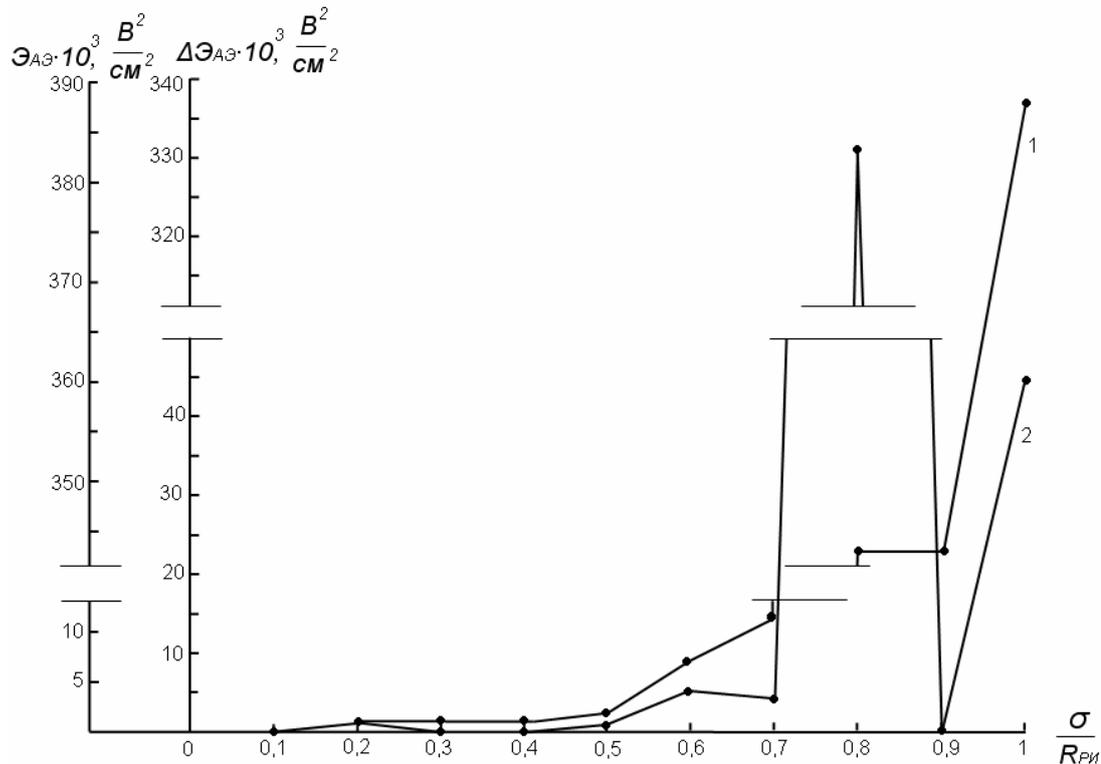


Рис.4. Зависимость энергии акустической эмиссии $E_{AЭ}$ (1) и дифференциального приращения энергии акустической эмиссии $\Delta E_{AЭ}$ (2) арктического туфа от интенсивности нагружения образцов типа I по ГОСТ 29167 при трёхточечном изгибе

Анализируя акустическую эмиссию, полученную на образцах из гранита (см. рис. 1), следует отметить, что излучение АЭ фиксировали с первого этапа нагружения. При этом до интенсивности напряжения, равного $0,7 R_{рп}$, фиксируется излучение АЭ толь-

ко при приложении нагрузки. Начиная с этапа $0,8 R_{\text{ри}}$ стала проявляться акустическая эмиссия и при выдержке образца под нагрузкой. На следующем этапе выдержки под постоянной нагрузкой зафиксировано значительное дифференциальное приращение излучения АЭ, что свидетельствует о локальной перестройке структуры гранита. Сравнивая характер энергетического распределения АЭ гранита с его коэффициентом внутреннего трения (см. таблицу), который имел наибольшие значения из сравниваемых пород, можно констатировать, что зернистая поликристаллическая структура гранита является типичной композитной структурой, которая характеризуется высокой степенью превращения в теплоту механической энергии, сообщенной ей в процессе деформирования, и сопротивляемостью разрушению, что и подтверждается методами исследования АЭ и внутреннего трения. При этом необходимо обратить внимание на абсолютные значения величин АЭ, которые у гранита значительно превосходят показатели мрамора, а тем более, известняка и туфа.

Так, энергетическое распределение АЭ образцов из мрамора (см. рис. 2) характеризуется тем, что первые излучения энергии АЭ фиксировали на уровне нагружения $0,5 R_{\text{ри}}$. На последующих более высоких уровнях нагружения фиксировали постепенное увеличение излучения импульсов АЭ. И лишь на уровне нагружения, равном $0,85-0,95 R_{\text{ри}}$ происходит взрывной выброс энергии импульсов акустической эмиссии, превышающий на один-полтора порядка предыдущий выброс энергии импульсов АЭ. При этом следует подчеркнуть, что образцы из мрамора при выдержке на всех этапах нагружения не излучали АЭ, что свидетельствует об однородности напряженно-деформированного состояния мелкокристаллической весьма совершенной микро-структуры этого материала и отсутствии пластических деформаций даже перед самым разрушением. По характеру излучения энергии АЭ мрамор вплоть до разрушения деформируется упруго, характер его разрушения весьма хрупкий, и, следовательно, он очень чувствителен к дефектам структуры и характеризуется малой вязкостью разрушения (терциноустойкостью).

Анализируя энергетическое распределение импульсов АЭ образцов туфа (см. рис. 4), следует отметить, что пористый материал обладает большей акустической «шумностью». Уже на четвертом этапе нагружения-выдержки вулканический туф проявляет пластические деформации, являющиеся основным источником акустических сигналов, которые протекают и на всех последующих этапах вплоть до разрушения.

Стохастический характер энергетического распределения импульсов АЭ на кривых нагружения опытных образцов позволяет использовать для анализа процесса зарождения, развития и движения дефектов структуры подходы синергетики, изучающей процессы самоорганизации, развития устойчивости и распада структур. Стохастичность импульсов АЭ на этапах нагружения обусловлена неравновесными фазовыми переходами, отвечающими особой точке (точке бифуркации), при достижении которой скачкообразно изменяются свойства, обусловленные самоорганизацией процесса. По характеру потери устойчивости однородного состояния равновесия и необратимого перехода в неоднородное стационарное состояние, устойчивое относительно малых возмущений, рассматриваемые структуры горных пород относятся к диссипативным структурам.

Анализ зависимостей сопротивления горных пород разрушению по энергетическому распределению импульсов АЭ (см. рис. 1–4) с позиций синергетики позволяет заключить, что эта зависимость является естественно присущей процессу разрушения – проявлять при разрушении одного и того же материала разные свойства в точках бифуркации, отвечающих смене как типа диссипативных структур, так и микро-механизма разрушения, что подтверждается численными значениями коэффициента изменчивости силового критерия разрушения K_c^* исследуемых материалов.

Таким образом, экспериментальная комплексная оценка силовых, энергетических, деформационных и акустических параметров механического поведения горных пород позволяет предложить критерий конструкционного качества заполнителей K_k при их

выборе для бетонов повышенной прочности и надежности. Таким критерием качества, на наш взгляд, может быть безразмерное произведение $K_k = E_d \cdot K_{вт} \cdot K_c^* \cdot G_c$, а в первом приближении – произведение $E_d \cdot K_{вт}$, сомножители которого определяют неразрушающим методом исследования с помощью прибора ИКВТ-2. Критерий качества K_k заполнителей из горных пород в определенной мере согласовывает требования, предъявляемые при выборе заполнителя, с современными воззрениями на сущность реальной прочности композитных материалов.

Список литературы

1. Ленг, Ф.Ф. Разрушение композитов с дисперсными частицами в хрупкой матрице / Ф.Ф. Ленг; пер. с англ. под ред. Г.П. Черепанова // Композиционные материалы. Т. 5. Разрушение и усталость. – М.: Мир, 1978. – С. 9–57.
2. Материаловедение / под ред. проф. Б.Н. Арзамасова. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.
3. Брок, Д. Основы механики разрушения: пер. с англ. / Д. Брок. – М.: Высшая школа, 1980. – 368 с.
4. Разрушение бетона и его долговечность / Е.А. Гузеев [и др.]. – Минск: Тыздзень, 1997. – 170 с.
5. Макридин, Н.И. Метод акустической эмиссии в строительном материаловедении / Н.И. Макридин, Е.В. Королев, И.Н. Максимова // Строительные материалы. – 2007. – №3; Наука. – №9. – С. 25–27.
6. Прибор для измерения коэффициента внутреннего трения типа ИКВТ-2. Инструкция. – Л.: ЛЭТИ, 1967. – 32 с.
7. ГОСТ 29167–91 Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.

References

1. Leng, F.F. Destruction of composites with dispersed particles in brittle matrix / F.F. Leng // composite materials. Tom 5. Destruction and fatigue. Trans. from Engl. edited by. G.P. Cherepanova. – M.: Peace, 1978. – P. 9–57.
2. Science of Materials // edited by. Prof. B.N. Arzamasova. – Publication the 2nd. – M.: Machine building, 1986. – 384 p.
3. Broek, D. Bases are the mechanics of destruction / D. Broek // Trans. with the Engl. – M.: Higher school, 1980. – 368 p.
4. Destruction of concrete and its longevity / E.A. Guzeev [and ets.]. – Minsk: Tydzen, 1997. – 170 p.
5. Makridin, N.I. Method of acoustic emission in construction materials science / N.I. Makridin, E.V. Korolev, I.N. Maximova // Building materials. – 2007. – №3; Science. – №9. – P. 25–27.
6. Instrument for measuring the coefficient of internal friction of the type IKVT-2. Instruction. – L.: L.E-T.I., 1967. – 32 p.
7. ALL-UNION STATE STAN. 29167-91 Concretes. Methods of the definition of the characteristics of resistance to cracks (fracture toughness) with the static load.

УДК 665.775

*Московский государственный
строительный университет*Россия, 129337, г. Москва,
Ярославское шоссе, д. 26,
тел./факс: +7 (495) 781-80-07**Королев Евгений Валерьевич,**
доктор технических наук, профессор,
проректор по учебной работе, директор
НОЦ «Нанотехнологии»
Тел.: 84991880400
E-mail: korolev_ev@rambler.ru**Смирнов Владимир Алексеевич,**
кандидат технических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник НОЦ
«Нанотехнологии»
E-mail: smirnov@nocnt.ru**Иноземцев Сергей Сергеевич,**
аспирант кафедры «Технология вяжущих
веществ и бетонов», инженер-испытатель
НОЦ «Нанотехнологии»
Тел.: 84991880400
E-mail: InozemcevSS@mgsu.ru*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77**Тарасов Роман Викторович,**
кандидат технических наук, доцент,
декан технологического факультета
Тел.: 8412929478
E-mail: rwtarasow@rambler.ru**Макарова Людмила Викторовна,**
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Стандартизация, сертификация
и аудит качества»
Тел.: 8412929478
E-mail: Mak.78_08@inbox.ru*Moscow State University of Civil Engineering*Russia, 129337, Moscow, 26,
Yaroslavskoe highway,
tel./fax: +7 (495) 781-80-07**Korolev Evgeniy Valeryevich,**
Doctor of Science, Professor,
vice rector for academic affairs, director of
research and education center
«Nanotechnology»
Tel.: 84991880400
E-mail: korolev_ev@rambler.ru**Smirnov Vladimir Alekseevich,**
Candidate of Science, Associate Professor,
Research officer of the REC
«Nanotechnology»
E-mail: smirnov@nocnt.ru**Inozemtsev Sergey Sergeevich,**
Postgraduate of the department «Technology
of knitting substances and concrete», Engineer
of the REC "Nanotechnology"
Tel.: 84991880400
E-mail: InozemcevSS@mgsu.ru*Penza State University of Architecture
and Construction*Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77**Tarasov Roman Victorovich**
Candidate of Science, Associate Professor,
Dean of the faculty of technology
Tel.: 8412929478
E-mail: rwtarasow@rambler.ru**Makarova Lyudmila Viktorovna,**
Candidate of Science, Associate Professor of
the department «Standardization, certification
and quality audit»
Tel.: 8412929478
E-mail: Mak.78_08@inbox.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИТУМНОЙ КОМПОЗИЦИИ СО СТРУКТУРНЫМИ ЕДИНИЦАМИ НАНОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ*

Е.В. Королев, Р.В. Тарасов, Л.В. Макарова, С.С. Иноземцев, В.А. Смирнов

На основе принципов моделирования проведена оценка размерного диапазона структурных единиц разработанного органоминерального наноразмерного модификатора для асфальтобетонов.

Ключевые слова: модельное исследование, наноразмерный модификатор, размерный эффект, битумные композиции.

* Печатается при поддержке гранта Президента РФ МД – 6090.2012.8.

SIMULATIONS STUDY OF BITUMEN COMPOSITION WITH NANOSCALE STRUCTURAL UNITS

E.V. Korolev, R.V. Tarasov, L.V. Makarova, S.S. Inozemtsev, V.A. Smirnov

On the basis of simulation principles the assessment of a scale range of structural units of the developed organic-mineral nanoscale modifier for asphalt concrete is carried out.

Keywords: numeric study, nanoscale modifier, dimensional effect, bitumen compositions.

Состояние дорожной сети является показателем благосостояния развития экономики страны. Одним из элементов, обеспечивающих реализацию транспортной стратегии Российской Федерации, является использование дорожно-строительных материалов с повышенными показателями эксплуатационных свойств.

Традиционные асфальтобетоны при современных нагрузках на ось транспортных средств и интенсивности движения на дорогах высших категорий не могут обеспечивать долговечность верхних слоев дорожных покрытий. В настоящее время актуальны исследования по поиску новых материалов, позволяющих существенно повысить сроки службы асфальтобетонных покрытий.

Битумы и битумоминеральные композиции являются одними из наиболее распространенных материалов, используемых в дорожном строительстве. Разработка путей повышения качества и долговечности битумов и материалов на их основе является актуальной задачей, позволяющей решать проблему надежности и долговечности работы дорожных покрытий.

Эта задача может быть решена путем модифицирования асфальтобетонных смесей различными добавками [1–16]. На основе проведенного анализа научно-технической литературы можно выделить следующие типы модификаторов для асфальтобетонов:

- 1) органические модификаторы;
- 2) минеральные порошки;
- 3) органоминеральные добавки;
- 4) минерально-органические добавки.

Проведенные авторами исследования показали, что наилучший эффект может быть достигнут за счет использования органоминеральной добавки на основе шлама и полимерной оставляющей (Butonal NS 198), дисперсная фаза которой содержит частицы нанометрового диапазона.

Для обоснования и выбора параметров изделия в настоящее время общепринято использовать наряду с теоретическими исследованиями методы и средства моделирования.

Описание моделируемой системы – битумной композиции – может представлять собой совокупность дифференциальных, алгебраических, логических и разностных уравнений, описывающих физические процессы в структурных элементах (взаимные перемещения, перенос теплоты и излучения).

В рамках системного анализа установлены общие этапы математического моделирования. Итеративная «триединая» суть процесса моделирования выражается схемой «модель – алгоритм – программа» [17].

В полиструктурной теории сформулированы теоретические предпосылки и разработаны практические вопросы создания композиционных материалов [18]. Парадигма современного строительного материаловедения – системно-структурный подход – должна стать методологической основой моделирования структурных уровней асфальтобетона (рис. 1).

Циклический трехэтапный процесс моделирования – от модели в терминах строительного материаловедения через вычислительный эксперимент к предметной интерпретации – на каждом структурном уровне должен быть дополнен необходимыми исходными данными (плотность и законы распределения дисперсных фаз, параметры технологических режимов уплотнения, временные зависимости динамической вязкости вяжущего) и расчетными процедурами (алгоритмы численного интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных произ-

водных, алгоритмы генерации выборок псевдослучайных чисел, подчиненных заданным одно- и многомерным распределениям).



Рис. 1. Исходные данные и алгоритм моделирования

Воспользуемся принципами моделирования для формирования суждений о размерном диапазоне структурных единиц разработанного органоминерального наноразмерного модификатора.

Обратимся к размерным особенностям дисперсной системы. Размерные эффекты оказывают влияние на реологические свойства и характерные значения поверхностной энергии системы. Важность анализа размерных эффектов определяется тем обстоятельством, что известные закономерности изменения макроскопических свойств часто не выполняются для систем, образованных структурными единицами малых размеров (число атомов структурной единицы сравнимо с числом атомов на ее поверхности). Именно по этой причине на практике наблюдается аномальное изменение физических свойств тонкодисперсных материалов.

При рассмотрении агрегативной устойчивости в дисперсных системах предложено выражение [19]

$$\sigma_m = \gamma \frac{kT}{a^2}, \quad (1)$$

где $\gamma \sim 10$ (безразмерный коэффициент); k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; a – размер структурной единицы.

Выражение (1) имеет размерность поверхностного натяжения и фактически представляет собой характерную энергию теплового движения, отнесенную к поверхности структурной единицы. Отмечается [19], что самопроизвольное диспергирование становится возможным (гетерогенная система термодинамически устойчива), если агрегативная устойчивость (1) превышает поверхностную энергию ($\sigma_{12} \sim 0,01 \dots 0,1$ Дж/м²) в системе (энергетический выигрыш от участия частицы в тепловом движении превышает затраты энергии при увеличении площади межфазной границы).

Наличие в числителе выражения (1) постоянной Больцмана предопределяет оценку для размера структурной единицы – $a \sim 10^{-9}$ м. Эта величина может быть принята как нижняя граница, определяющая наноразмерный модификатор: для материала, образованного такими частицами, существенны размерные эффекты.

Известна [20] зависимость вязкости системы, образованной монодисперсными частицами, от приложенного напряжения:

$$\eta = \eta_0 \frac{1}{3} \frac{z^3}{z \operatorname{ch} z - \operatorname{sh} z} = \frac{\kappa \tau k T}{\lambda a^2} \frac{z^3}{z \operatorname{ch} z - \operatorname{sh} z}, \quad (2)$$

где $z = \frac{\lambda a^2 P}{kT}$; λ – среднее расстояние между равновесными положениями структурной (кинетической) единицы; a – размер структурной единицы; P – механическое напряжение, $\kappa \sim 1$; τ – среднее время нахождения структурной единицы в положении равновесия ($\tau \neq \tau(a)$).

Для авторов [20] наибольший интерес представляла зависимость $\eta = \eta(P)$ вязкости от механического напряжения. Соответственно в работе [20] приводится подробный анализ поведения второго множителя

$$\varphi(z) = \frac{z^3}{3(z \operatorname{ch} z - \operatorname{sh} z)} \quad (3)$$

в правой части выражения (2). В области определения функция (3) монотонно убывает, асимптотически приближаясь к нулю. При этом максимальное значение $\lim_{z \rightarrow +0} \varphi(z) = 1$ – соответствующее наибольшей вязкости дисперсной системы – достигается в стационарной точке (3):

$$\lim_{z \rightarrow +0} \frac{d\varphi}{dz} = \frac{1}{3} \lim_{z \rightarrow +0} \frac{z^2 (3z \operatorname{ch} z - 3 \operatorname{sh} z - z^2 \operatorname{sh} z)}{(z \operatorname{ch} z - \operatorname{sh} z)^2} = 0. \quad (4)$$

На зависимость $\eta = \eta(a)$ вязкости от размера структурной единицы, помимо множителя (3), оказывает влияние множитель $\eta_0 = \frac{3\kappa\tau kT}{\lambda a^2}$. Подобно зависимости (3), зависимость

$$\eta(a) = \frac{\tau \lambda^2 a^4 P^3}{(kT)^2} \left(\frac{\lambda a^2 P}{kT} \operatorname{ch} \frac{\lambda a^2 P}{kT} - \operatorname{sh} \frac{\lambda a^2 P}{kT} \right)^{-1} \quad (5)$$

монотонно убывает, но при $a \rightarrow +0$ она терпит разрыв II рода:

$$\lim_{a \rightarrow +0} \eta(a) = +\infty, \quad (6)$$

$$\lim_{a \rightarrow +0} \frac{\partial \eta}{\partial a} = \lim_{a \rightarrow +0} \frac{2\tau \lambda^2 a^3 P^3 \left(2kT \lambda a^2 P \operatorname{ch} \frac{\lambda a^2 P}{kT} - (2k^2 T^2 + \lambda^2 a^4 P^2) \operatorname{sh} \frac{\lambda a^2 P}{kT} \right)}{k^2 T^2 \left(\lambda a^2 P \operatorname{ch} \frac{\lambda a^2 P}{kT} - kT \operatorname{sh} \frac{\lambda a^2 P}{kT} \right)} = -\infty. \quad (7)$$

Соотношения (6) и (7) свидетельствуют, что зависимость (2) может являться моделью реологических свойств дисперсной системы, лишь начиная с некоторого характерного размера частиц дисперсной фазы; при $a \rightarrow +\infty$ малое отклонение Δa размера частиц соответствует существенному изменению вязкости системы.

В качестве характерного размера естественно принять значение, соответствующее точке наибольшей кривизны (2):

$$k = \zeta \left| \frac{\partial^2 \eta}{\partial a^2} \right| \left(1 + \left(\zeta \frac{\partial \eta}{\partial a} \right)^2 \right)^{-\frac{3}{2}}, \quad (8)$$

где ζ – нормирующий множитель (после умножения на который, в частности, второе слагаемое в скобках становится безразмерным), равный

$$\zeta = \left| \left\langle \frac{\partial \eta}{\partial a} \right\rangle \right|^{-1} = \left| \frac{1}{L} \int_{a_0}^{a_0+L} \frac{\partial \eta}{\partial a} da \right|^{-1} = \left| \frac{L}{\eta(a_0+L) - \eta(a_0)} \right|. \quad (9)$$

Знак нормирующего множителя произволен и не оказывает влияния на значение (8). Для выбранных параметров системы нормирующий множитель равен

$$\zeta \approx 2,8 \cdot 10^{-5}. \quad (10)$$

Зависимость (8), построенная с учетом выражения (10), изображена на рис. 2.

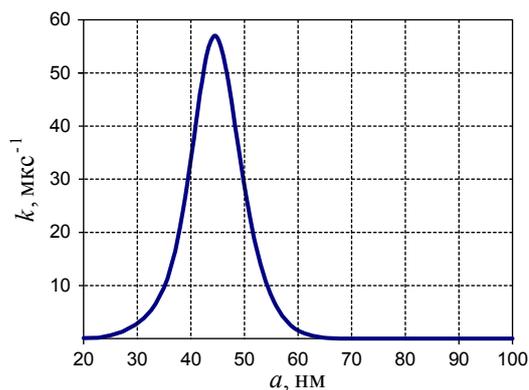


Рис. 2. Коэффициент кривизны зависимости вязкости системы от размера частиц
Абсцисса точки экстремума (8) может быть найдена численно:

$$a_{k,\max} \sim 50 \text{ нм}. \quad (11)$$

Найденная оценка согласуется с результатом, полученным в работе [21], из наиболее общих соображений (относительная доля поверхностных атомов частицы дисперсной фазы).

Таким образом, диапазон размеров структурных единиц, соответствующий проявлению размерных эффектов в дисперсной системе, оказывается равным $1 \sim a \sim 50$ нм. Указанный диапазон соответствует применению нанодисперсных материалов, что должно обеспечить повышение величины известных эффектов.

При этом необходимо отметить, что достижение характерных параметров может достигаться не только диспергированием фазы модификатора (указанное сопряжено не только со значительными затратами энергии, но и сопутствующими токсикологическими и технологическими проблемами технологии), но и организацией на поверхности минеральной фазы микроскопических размеров слоя модификатора с заданными размерами. Нанесение такого слоя и формирование органоминерального модификатора может осуществляться различными способами. Эффективным является нанесение слоя из раствора модификатора. При этом необходимо обеспечить равномерность нанесения слоя органического модификатора, что достигается посредством интенсивного перемещения фаз в процессе совместного измельчения. Использование указанной методики синтеза органоминеральных модификаторов, включающих органический компонент, толщина слоя которого достигает нанометрических размеров, обеспечит повышение показателей качества и долговечности асфальтобетонных покрытий дорог.

Список литературы

1. Органические вяжущие для дорожного строительства / С.К. Иллиополов [и др.]. – Ростов н/Д: Юг, 2003. – 428 с.

2. Указания по применению органических вяжущих материалов при строительстве автомобильных дорог и инженерно-дорожных сооружений. – Электронные дан. – М. : КОДЕКС, версия 5.1, 2006.
3. Калгин, Ю.И. Экономическая целесообразность применения модифицированных битумов при устройстве верхних слоев асфальтобетонных покрытий / Ю.И. Калгин // Дороги России 21 века. – 2002. – №3. – С. 69–71.
4. Соломенцев, А.Б. Классификация и номенклатура модифицирующих добавок для битумов / А.Б. Соломенцев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 1. – С. 14–16.
5. Леоненко, В.В. Некоторые аспекты модификации битумов полимерными материалами / В.В. Леоненко, Г.А. Сафонов // Химия и технология топлив и масел. – 2001. – № 5. – С. 43–45.
6. Гохман, Л.М. Применение полимерно-битумных вяжущих в дорожном строительстве / Л.М. Гохман, О. Бабак, Т. Старков // Дорожная техника и технологии. – 2001. – № 5. – С. 72–76.
7. Дорожные битумы с модифицирующими добавками / С.В. Котов, Г.В. Тимофеева, С.В. Ливанова [и др.] // Химия и технология топлив и масел. – 2003. – № 3. – С. 52–53.
8. Айгуль, А.И. Модифицирование битумов добавками класса ПАВ / А.И. Айгуль, И.К. Линар // В мире научных открытий. – 2010. – №6.1 (12). – С. 236–237.
9. Золотарев, В.А. Битумы, модифицированные полимерами, и асфальтобетоны / В.А. Золотарев // Дорожная техника. – 2009. – №1. – С. 16–23.
10. Дедюхин, А.Ю. Армирование асфальтобетонных смесей как способ борьбы с колеей / А.Ю. Дедюхин // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. – 2009. – Вып. 16 (35). – С.88–92.
11. Абдуллин, А.И. Асфальтобетон на основе битумного вяжущего с добавкой модифицированного кремнезема / А.И. Абдуллин, Е.А. Емельянычева, А.И. Юсупов // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 7. – С. 212–215.
12. Горбунов, В.М. Использование отходов в дорожном строительстве / В.М. Горбунов, А.С. Попов // Автомобильные дороги. – 1999. – Вып. 6. – С. 25–26.
13. Озерянская, В.В. Утилизация гальваноосадков в асфальтобетоны / В.В. Озерянская, И.Н. Лоскутникова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2004. – №6. – С. 84–87.
14. Радзишевский, П. Свойства асфальтобетона на битуморезиновом вяжущем / П. Радзишевский // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2007. – № 3. – С. 38–41.
15. Аюпов, Д.А. Наномодифицированные битумные вяжущие для асфальтобетона / Д.А. Аюпов, А.В. Мурафа, Ю.Н. Хакимуллин, В.Г. Хозин // Строительные материалы. – 2010. – № 10. – С. 34–35.
16. Аминов, Ш.Х. Щебеночно-мастичный асфальтобетон на основе природного сырья и отходов промышленности / Ш.Х. Аминов, И.Б. Струговец, Г.Т. Ханнанова // Строительные материалы. – 2007. – № 3. – С. 40–42.
17. Самарский, А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
18. Соломатов, В.И. Развитие полиструктурной теории композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов // Материалы юбил. конф. – М.: МИИТ, 2001. – С. 56–66.
19. Ребиндер, П.А. Образование и свойства структур в дисперсных системах / П.А. Ребиндер // Физико-химическая механика дисперсных структур: сб. статей Коллоидного журнала. – М., 1966. – С. 3–16.
20. Бартенев, Г.М. К теории реологических свойств дисперсных систем / Г.М. Бартенев [и др.] // Физико-химическая механика дисперсных структур: сб. статей Коллоидного журнала. – М., 1966. – С. 371–377.
21. Королев, Е.В. Радиационно-защитные и химически стойкие серные строительные материалы / Е.В. Королев [и др.]. – Пенза-Оренбург: ИПК ОГУ, 2010. – 364 с.

References

1. Organic binders for road construction / S.K.Illiopolov et al. – Rostov n/D: Yug, 2003. – 428 p.
2. Instructions for application of organic binders for road constructions. – М.: КОДЕКС, ver. 5.1, 2006.
3. Kalgin, Yu.I. Economic feasibility of modified bitumen application for upper layers of bitumen-based concrete constructions / Yu.I. Kalgin // XX Century Russian Roads. – 2002. – № 3. – P. 69–71.
4. Solomentsev, A.B. Classification and nomenclature of modifying additives for bitumens / A.B. Solomentsev // Science and equipment in road construction. – 2008. – № 1. – P. 14–16.
5. Leonenko, V.V. Some aspects of polymer-based bitumens' modification / V.V. Leonenko, G.A. Safonov // Chemistry and technology of fuels and oils. – 2001. – № 5. – P. 43–45.
6. Gohmann, L.M. Application of polymer-bitumen binders in road construction / L.M. Gohmann, O. Babak, T. Starkov // Road equipment and technologies. – 2001. – № 5. – P. 72–76.
7. Road bitumens with modifying additives of / S.V. Kotov, G. V. Timofeeva, S.V. Livanova et al. // Chemistry and technology of fuels and oils. – 2003. – № 3. – P. 52–53.
8. Ajgul, A.I. Surfactant-modified bitumens / A.I. Ajgul, I.K. Linar // World of discoveries. – 2010. – №6.1. (12). – P. 236–237.
9. Zolotaryov, V.A. Bitumen modified by polymers and asphalt concretes / V.A. Zolotaryov // Road equipment. – 2009. – №1. – P. 16–23.
10. Dedyukhin, A.Yu. Reinforcing of asphalt concretes as a mean to avoid tracks / A.Yu. Dedyukhin // Proc. of VOLGGASU: Construction and architecture. – 2009. – Iss. 16(35). – P. 88–92.
11. Abdullin, A.I. Bitumen-based asphalt concrete with an addition of modified silica / A.I. Abdullin, E.A. Emelyanychev, A.I.Yusupov // Proc. of the Kazan technological university. – 2010. – № 7. – P. 212–215.
12. Gorbunov, V.M. Waste utilization during road construction / V.M. Gorbunov, A.S. Popov // Highways. – 1999. – Iss. 6. – P. 25–26.
13. Ozeryanskaja, V.V. Utilization of galvanic waste during production of the asphalt concrete / Ozeryanskaja V.V., Loskutnikov I.N. // News of higher educational institutions. Natural sciences. – 2004. – №6. – P. 84–87.
14. Radzishevsky, P. Properties of asphalt concrete on the bitumen-rubber binder / P. Radzishevsky // Science and equipment in road construction. – 2007. – №3. – P. 38–41.
15. Ayupov, D.A. Nanomodified bitumen-based / Binders for asphalt concrete. D.A. Ayupov, A.V. Murafa, Yu.N. Hakimullin, V.G. Hozin // Construction materials. – 2010. – №10 – P. 34–35.
16. Aminov, Sh.H. Asphalt concrete based on coated grit, natural and industrial waste / Sh.H. Aminov, I.B. Strugovets, G.T. Hannanova // Construction materials. – 2007. – № 3. – P. 40–42.
17. Samarskij, A.A. Mathematical modeling: Ideas. Methods. Examples / A.A. Samarskij, A.P. Mikhaylov. – М: Fismatlit, 2001. – 320 p.
18. Solomatov, V.I. Development of the polystructural theory of constructional composites // Proc. of ann. conf. / V.I. Solomatov. – М.: “МИИТ”, 2001. – P. 56–66.
19. Rebinder, P.A. Physical and chemical mechanics of disperse structures // Physical and chemical mechanics of disperse structures. Collection of articles of the Colloidal magazine. – М., 1966. – P. 3–16.
20. Bartenev G. M., et al. To the theory of rheological properties of disperse systems // Physical and chemical mechanics of disperse structures. Collection of articles of the Colloidal magazine. – М., 1966. – P. 371–377.
21. Korolev E.V., et al. Radiation-protective chemically resistant sulfuric construction materials. – Penza-Orenburg: “IPK OGU”, 2010. – 364 p.

УДК 666.97

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Береговой Виталий Александрович,
кандидат технических наук, доцент
E-mail: vabereg@rambler.ru

Костин Дмитрий Сергеевич,
аспирант
E-mail: kostindimas@yandex.ru

Береговой Александр Маркович,
доктор технических наук, профессор
E-mail: ambereg@rambler.ru

Ларина Галина Федоровна,
доцент
*Московский государственный
строительный университет*
Россия, 129337, г. Москва,
Ярославское шоссе, д. 26,
тел./факс: +7 (495) 781-80-07

Королев Евгений Валерьевич,
доктор технических наук, профессор,
проректор по учебной работе, директор
НОЦ «Нанотехнологии»
Тел.: 84991880400
E-mail: korolev_ev@rambler.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*
Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Beregovoy Vitaliy Aleksandrovich,
Candidate of Science, Associate Professor
E-mail: vabereg@rambler.ru

Kostin Dmitriy Sergeevich,
Postgraduate
E-mail: kostindimas@yandex.ru

Beregovoy Aleksandr Marcovich,
Doctor of Science, Professor
E-mail: ambereg@rambler.ru

Larina Galina Fedorovna,
Associate Professor
Moscow State University of Civil Engineering

Russia, 129337, Moscow, 26,
Yaroslavl highway,
tel./fax: +7 (495) 781-80-07

Korolev Evgeniy Valeryevich,
Doctor of Science, Professor, Vice rector
for academic affairs, Director of research
and education center «Nanotechnology»
Tel.: 84991880400
E-mail: korolev_ev@rambler.ru

ОПОЧНЫЕ ПОРОДЫ В ТЕХНОЛОГИИ ПОРИСТОЙ КЕРАМИКИ ДЛЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

В.А. Береговой, Д.С. Костин, Е.В. Королев, А.М. Береговой, Г.Ф. Ларина

Показана возможность использования опочных месторождений в качестве источников сырья в технологии пористой керамики. Установлен характер влияния минерального типа сырья, температуры обжига и вида вводимого модификатора на формирование прочностных показателей кремнистой керамики. Получены эффективные конструкционно-теплоизоляционные керамические материалы.

Ключевые слова: пористые керамические материалы, сырьевые компоненты, температура обжига, вид модификатора.

SILICA CLAY DEPOSITS IN TECHNOLOGY OF POROUS CERAMICS FOR ENCLOSING BUILDING STRUCTURES

V.A. Beregovoi, D.S. Kostin, E.V. Korolev, A.M. Beregovoi, G.F. Larina

The possibility of silica clay deposits use as sources of raw materials in porous ceramics technologies is shown. They have found the influence of mineral raw materials, the temperature of calcinations, the type of the used modifier on the strength factor of siliceous ceramics.

Keywords: porous ceramics, research of silica clay deposits, temperature of calcinations, type of modifier.

Повышение энергоэффективности строительных объектов требует разработки и внедрения новых конкурентоспособных теплоэффективных строительных материалов. Такие материалы могут быть созданы с применением инновационных ресурсосберегающих технологий, ориентированных на широкое использование местных минеральных сырьевых ресурсов.

Особенностью минеральной базы России является широкое распространение во многих регионах (Карелия, Поволжье, Урал, Сахалин, Северный Кавказ и др.), наряду с залежами глин, значительных запасов нетрадиционного керамического сырья – кремнеземистых пород [1], существенная часть которых представлена опочными месторождениями, не используемыми в производстве теплоэффективной ячеистой керамики в настоящее время [2].

Анализ научно-технической информации показал, что именно обжиговые ячеистые материалы способны, сохранив преимущества минеральной теплоизоляции, составить конкуренцию полимерным аналогам по показателям теплопроводности, плотности и сорбционного увлажнения [3]. В настоящее время из группы обжиговых ячеистых материалов (пенокерамика, пеностекло) в Российской Федерации промышленно производится только пенодиатомит. Один из главных недостатков существующей технологии пенодиатомита заключается в узости сырьевой базы (месторождений диатомита), что существенно увеличивает стоимость изделий.

В работе приведены результаты исследований по определению возможности применения опочных месторождений в качестве доступного и дешевого источника сырья для производства пенокерамики.

В исследованиях использованы кремнистая и трепеловидная разновидности опочного сырья из Ишимского месторождения Пензенской области.

Методом РФА установлено, что минералогический состав трепеловидной опоки определяется наличием %, по массе (рис. 1): кварц (к) и тридимит (т) – 25...30; монтмориллонит (м) – 20...25; сепиолит (с) ($3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$) – 4...8; опаловидный кремнезем – остальное.

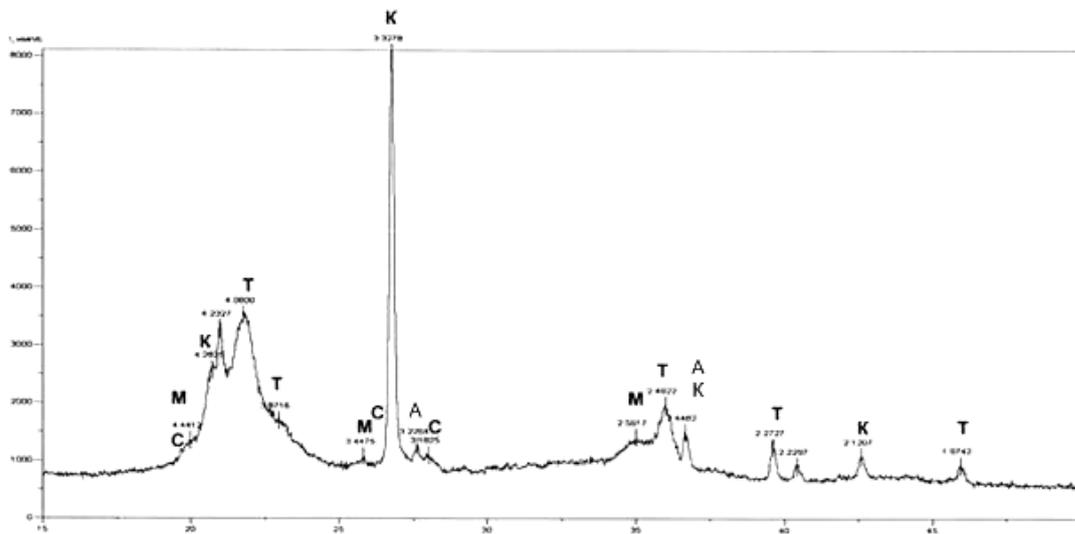


Рис. 1. Рентгенограмма трепеловидной опоки

После обжига в материале формируются значительные кристобалито-тридимитовая и анортитовая кристаллические фазы (рис. 2).

В сравнении с трепеловидной, минералогический состав кремнистой опоки характеризуется большей однородностью и определяется наличием кварца и его низкотемпературных разновидностей (34–40 %), а также опаловидного кремнезема (60–66 %).

На первом этапе производилась оценка степени влияния рецептурных факторов на прочностные показатели кремнистой керамики. На рис. 3 приведены значения прочности керамических образцов базового состава (кремнистая опока + вода), обожженных при разных температурах.

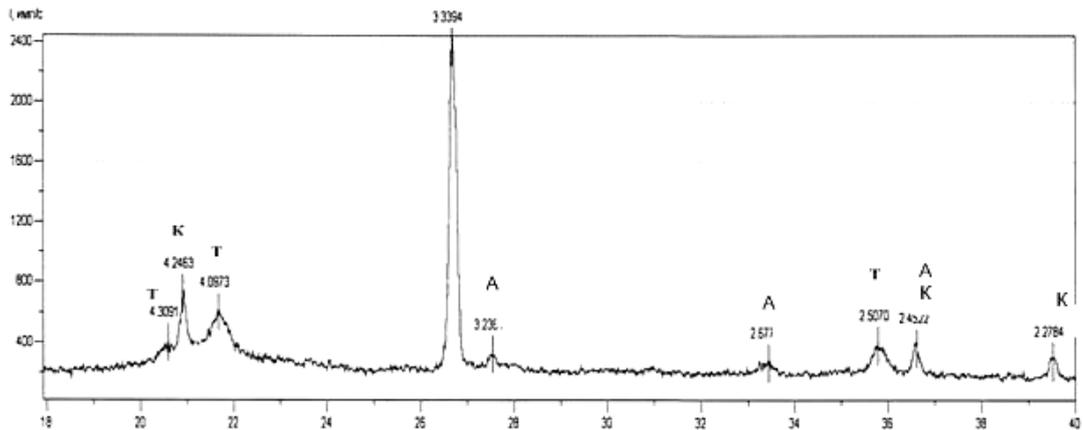
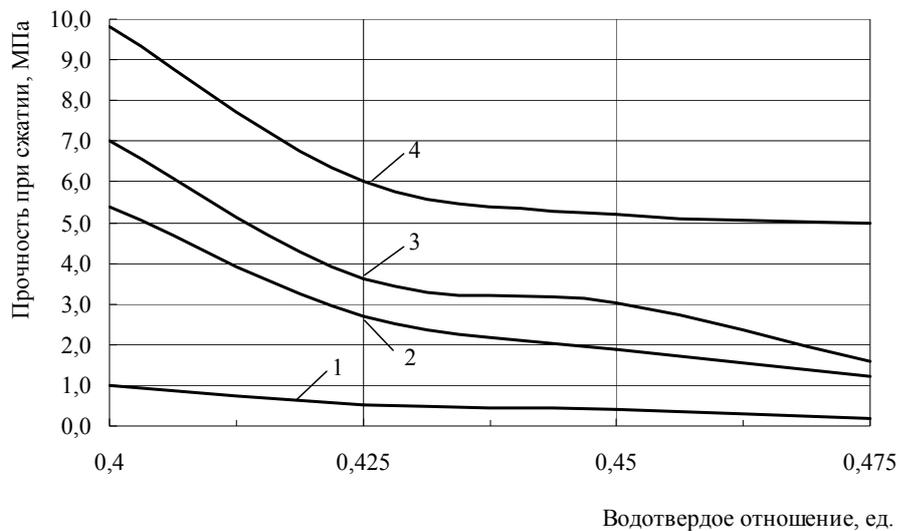


Рис. 2. Рентгенограмма керамики из трепеловидной опки


 Рис. 3. Влияние водотвердого отношения на прочность кремнистой керамики при температурах обжига, °С:
 1 – без обжига; 2 – 900; 3 – 1000; 4 – 1100

Представленные экспериментальные данные показывают, что дополнительная микропористость, формируемая за счет увеличения водотвердого отношения в диапазоне 0,4–0,476, снижает прочностные показатели кремнистой керамики на 50–75 %. Увеличение температуры обжига с 900 до 1100 °С сопровождается существенным повышением прочности керамики на сжатие (в 2,5–3 раза) при одинаковом В/Т-отношении.

Обработка экспериментальных данных позволила получить зависимость прочности кремнистой керамики от водотвердого отношения [4]:

$$R_{\text{сж}}^{\text{м}} = \frac{R'_{\text{сж}}}{m \cdot \left(\frac{\text{В}}{\text{Т}}\right)^n}, \quad (1)$$

где $R'_{\text{сж}}$ – прочность кремнистой керамики (при В/Т = 0,4); n и m – числовые коэффициенты.

Учитывая влияние макропор, прочность ячеистого материала с несущей матрицей на основе кремнистой керамики выразим зависимостью

$$R_{\text{яч.кер.}} = 0,7 \cdot \frac{R'_{\text{сж}}}{m \cdot \left(\frac{\text{В}}{\text{Т}}\right)^n} \cdot (1 - V_{\text{пор}}^{2/3}), \quad (2)$$

где $V_{\text{пор}}$ – относительное содержание макропор, формируемых в процессе поризации.

Анализ экспериментальных данных рис. 3 показал, что максимально достижимые значения прочности керамической матрицы ($R'_{сж}$) не превышают 10 МПа. Как показали последующие эксперименты, этого оказалось недостаточно для получения на ее основе конкурентоспособных по показателю прочности ячеистых материалов.

Существенное повышение прочности керамической матрицы достигнуто путем модифицирования базового состава добавками, увеличивающими количество расплава при температурах обжига 900–1000°C. Данные рис. 4 иллюстрируют положительное влияние некоторых из использованных добавок на показатель прочности керамического материала (при $V/T=0,425$).

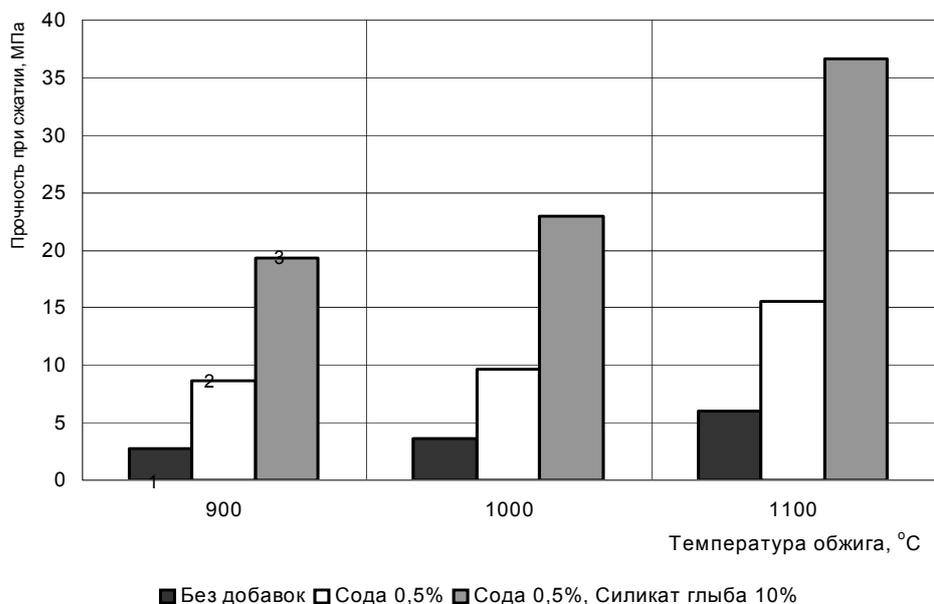


Рис. 4. Зависимость прочности кремнистой керамики от температуры обжига и вида добавки-модификатора:

1 – без добавки; 2 – Na_2CO_3 (0,5 %); 3 – Na_2CO_3 (0,5 %) + Na-силикат-глыба (10 %)

Аналогичные исследования проведены для трепеловидной разновидности опочного сырья. Результаты испытаний базового состава показали, что прочность образцов несколько выше (на 20–25 %), чем аналогичный показатель для образцов из кремнистой опоки. Это связано с более сложным и многокомпонентным составом трепеловидной опоки, в котором присутствует значительная примесь глинистых минералов.

В качестве упрочняющих модифицирующих добавок для керамики на основе этой разновидности опочного сырья были использованы индивидуальные вещества и двухкомпонентные смеси:

а) соли натрия (карбонат, хлорид, фосфат, фторид, силикат, кремнефторид и тетраборат), фториды бария и магния, тонкомолотые стеклянные фритты;

б) смеси карбонатов натрия и кальция, карбоната натрия и доломита, фторида натрия и доломита.

Влияние добавок на прочность и плотность материала-основы представлено на рис. 5 (температура обжига 1000 °C).

Анализ данных рис. 5 свидетельствует, что введение добавок сопровождается изменением прочности и плотности керамики. При этом большинство добавок (за исключением жидкого стекла) увеличивает прочностные свойства материала. Для отдельных добавок, таких, как Na_3PO_4 (при содержании не менее 4,5 %), рост прочности сопровождается снижением средней плотности, что свидетельствует о наличии структурообразующих процессов с участием фосфатной связки. Максимальное увеличение прочности для исследованных добавок наблюдается при использовании веществ, содержащих в своем составе Na^+ и F^- (NaF , Na_2SiF_6); при этом соотношение прочности материала к прочности базового состава достигает 1,9–2,8. Сравнительный анализ данных рис. 5 показывает, что немаловажное влияние оказывает анион вводимой добавки: наличие F^- способствует большему увеличению прочности в сравнении с ионом Cl^- .

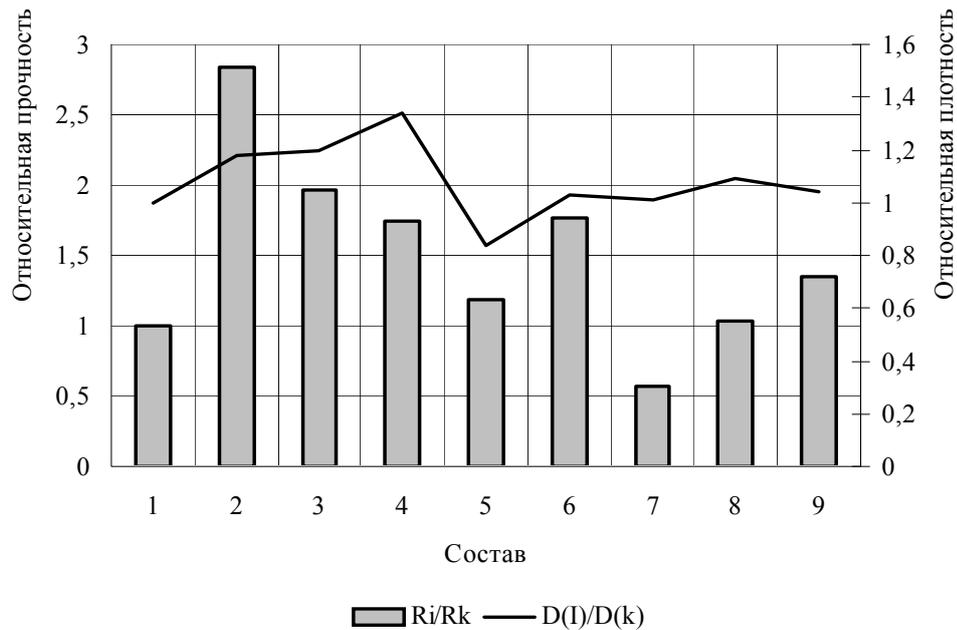


Рис. 5. Влияние добавок на свойства материала-основы:

R_k и R_i – соответственно прочность базового состава и состава с добавкой;

$D(k)$ и $D(I)$ – соответственно плотность базового состава и состава с добавкой;

1 – без добавки (базовый); 2 – базовый + 3 % NaF; 3 – базовый + 6 % Na_2SiF_6 ;

4 – базовый + 3 % $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$; 5 – базовый + 4,5 % $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$; 6 – базовый + 6 % MgF_2 ;

7 – базовый + 8,5 % жидкое стекло; 8 – базовый + 5,4 % BaF_2 ; 9 – базовый + 3 % NaF + 3 % доломит

Формирование заданных параметров макроструктуры пористой керамики достигнуто за счет применения в качестве порообразователя перекиси водорода и комплексной добавки разжижающего и структурообразующего действия. Использование указанных добавок обеспечило получение образцов на основе кремнистых разновидностей опочного сырья с плотностью 600–650 кг/м³ и прочностью более 2,0 МПа.

Проведенные исследования показали принципиальную возможность использования опочных месторождений в качестве источников доступного и дешевого сырья при производстве пористых керамических материалов.

Список литературы

1. Иванов, И.А. Местные строительные материалы Пензенской области / И. Иванов, А. Кондрашов. – Пенза, 1970. – 168 с.
2. Дистанов, У.Г. Геолого-промышленные типы месторождений осадочных кремнистых пород СССР. Критерии их прогноза и поисков / У.Г. Дистанов // Происхождение и практическое использование кремнистых пород: сб. ст. АН СССР / Отв. редакторы В.Н. Холодов, В.И. Седнецкий. – М.: Наука, 1987. – С. 157–167.
3. Пат. 2349563. Российская Федерация. Способ получения пенокерамических изделий / М.Г. Габидуллин, А.Г. Хузагарипов. – Оpubл. 20.03.2009. – Бюл. № 8.
4. Береговой, В.А. Эффективные теплоизоляционные пенокерамобетоны / В.А. Береговой, Е.В. Королев, Ю.М. Баженов. – М.: МГСУ, 2011. – 264 с.

References

1. Ivanov, I.A. Local building materials of Penza region / I. Ivanov, A. Kondrashov. – Penza, 1970. – 168 p.
2. Distanov, U. Geologo-industrial types of sedimentary siliceous deposits in USSR. The criteria of their forecasting and searching / U. Distanov // Origin and practical use of siliceous sorts: Sb. cl. AN USSR / V. N. Chill, V. I. Sedneckiy. – M.: Science, 1987. – P. 157–167.
3. The Stalemate. 2349563. The Federation of Russia. The Way of the reception of foam ceramics products / M.G. Gabidullin, A.G. Huzagaripov. – Opubl. 20.03.2009. – Byul. 8.
4. Beregovoi, V.A. Efficient heat insulation foam ceramic concretes / V.A. Beregovoi, E.V. Korolev, Y.M. Bazhenov. – M.: MGSU, 2011. – 264 p.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Ивашенко Александр Минович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технология строительного
производства»

Калашников Владимир Иванович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Технологии строительных
материалов и деревообработки»

Каргин Алексей Александрович,
ассистент кафедры «Технология
строительного производства»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Ivashchenko Alexandr Minovich,
Candidate of Science, Associate Professor of
the department «Technology of Building»

Kalashnikov Vladimir Ivanovich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Technologies of building
materials and wood processing»

Kargin Alexei Alexandrovich,
Assistant lecturer of the department
«Technology of Building»

ПРИКЛАДНОЙ МЕТОД РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ КОЛОНН ИЗ СТАЛИ И ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ В СТОЙКАХ КАРКАСОВ ЗДАНИЙ

А.М. Ивашенко, В.И. Калашников, А.А. Каргин

Приведены результаты выполненного сопоставительного анализа приближённых характеристик упругой устойчивости $\mu_{j,уп}$ и уточнённых упругопластических характеристик $\mu_{j,пл}$ для сплошностенчатых колонн в центрально-сжатых неразрезных стойках с ригелями и без них.

Ключевые слова: неразрезные стойки, колонны из стали, центрально-сжатые образцы, численные исследования, упругопластические характеристики устойчивости $\mu_{j,пл}$.

APPLIED CALCULATION METHOD OF STABILITY CHARACTERISTICS FOR COLUMNS FROM STEEL AND HIGH- STRENGTH CONCRETE IN BUILDINGS SKELETONS RACKS

A.M. Ivashchenko, V.I. Kalashnikov, A.A. Kargin

The article gives the results of comparative analyses of approximate characteristics of resilient stability $\mu_{j,res}$, and specified resilient-plastic characteristics $\mu_{j,pl}$ for solid wall steel columns in centrally-compressed uncut columns with and without girths.

Keywords: uncut piers, steel columns, centrally-compressed models, numerical analyses, resilient-plastic characteristics stability $\mu_{j,pl}$.

В работе [1] дана классификация характеристик устойчивости (коэффициентов расчетных длин) μ_j , применяемых в инженерных расчетах при проектировании колонн, совместно работающих в стержневых конструкциях. Номенклатура характеристик μ_j представлена одиннадцатью позициями: десятью позициями в составе группы известных приближенных коэффициентов $\mu_{j,уп}$, в том числе задействованных в СНиП II-23-81*, а также без изменения в СП 53-102-2004, и одной в составе уточнённых $\mu_{j,пл}$. От применения коэффициентов $\mu_{j,уп}$ предложено отказаться, поскольку в основу их определения положена теория упругой устойчивости стержневых сис-

тем, и перейти к использованию новых характеристик $\mu_{j,пл}$, определяемых с учетом упругопластических свойств конструкционных строительных материалов, включая высокопрочные и особо высокопрочные бетоны нового поколения – классов В120 – В140.

Прикладное значение коэффициентов $\mu_{j,пл}$ состоит в том, что они позволяют принимать во внимание положительный эффект перераспределения изгибающих моментов от продольно действующих сил и экономить материальные ресурсы на изготовление колонн. Перераспределение внутренних реактивных моментов имеет место в реальных стержневых конструкциях в виде неразрезных стоек, изготавливаемых из упругопластического материала.

В данной работе остановимся на научной новизне вариантного метода определения уточненных характеристик устойчивости $\mu_{j,пл}$ и проведем сопоставительный анализ приближенных коэффициентов $\mu_{j,уп}$.

Новый вариантный метод определения характеристик устойчивости $\mu_{j,пл}$, предложенный в работе [2] и реализованный в пакете программ [3] для двухъярусных стоек, рассмотрим на основе аналогии с известным методом вычисления коэффициентов приведенных длин $\mu_{j,пр}$, в котором для отдельного стержня эйлера критическая сила $N_{j,кр,ст}$ определяется по формуле

$$N_{j,кр,ст} = \pi^2 \cdot E \cdot J / \mu_{j,пр}^2 \cdot l_j^2. \quad (1)$$

Для стержня в составе системы после решения задачи ее бифуркационной устойчивости и определения параметра $v_{j,кр(min)}$ критическая сила $N_{j,кр,сис}$ вычисляется по формуле

$$N_{j,кр,сис} = v_{j,кр(min)}^2 \cdot E \cdot J / l_j^2. \quad (2)$$

Приравняв $N_{j,кр,сис} = N_{j,кр,ст}$, найдем значение $\mu_{j,пр}$ по формуле

$$\mu_{j,пр} = \pi / v_{j,кр(min)}. \quad (3)$$

По аналогии в предлагаемом новом методе для отдельного с небольшой гибкостью стержня ($\lambda_{max} \leq 150$), материал которого работает согласно диаграмме Прандтля, предельная сила $N_{j,п,ст}$ достаточно точно, с погрешностью менее 3 %, определяется как критическая сила $N_{j,кр,я}$, вычисляемая по упругому ядру $J_я$:

$$N_{j,п,ст} = N_{j,кр,я} = \pi^2 \cdot E \cdot J_я / \mu_{j,пл}^2 \cdot l_j^2. \quad (4)$$

Предельная сила $N_{j,п,сис}$ для такого же стержня в составе упругопластической системы рассчитывается по следующей формуле (она аналогична формуле (2)):

$$N_{j,п,сис} = v_{j,пл(min)}^2 \cdot E \cdot J_я / l_j^2. \quad (5)$$

Приравняв $N_{j,п,сис} = N_{j,п,ст}$, найдем искомое значение $\mu_{j,пл}$:

$$\mu_{j,пл} = \pi / v_{j,пл(min)}. \quad (6)$$

Подобие формул (6) и (3) носит только формальный характер. В самом деле, приведенная длина у каждого рассматриваемого стержня представляет собой расстояние между точками перегиба его оси. В упругой стержневой системе она у любого из элементов вполне детерминирована, так же, как и у отдельного эталонного стержня. Расстояние между точками перегиба у эталонного стержня не меняется и при переходе к упругопластической стадии работы. Точки перегиба фиксированы и обусловлены наличием шарниров по концам. В предельной же упругопластической стадии работы рамной конструкции расстояния между точками перегиба у элементов стойки могут изменяться. Они детерминированы только в частном случае равнопрочного по критерию краевой текучести состояния.

Суть нового метода такова. В стержневой двухъярусной системе задается отличная от указанного выше частного случая форма предельного равновесия одного стержня, например нижнего. Она характеризуется новым, в пределах возможного диапазона, значением коэффициента $\mu_{1,пл}$. Решением задачи устойчивости находится параметр предельной нагрузки $\nu_{2,пл}$, соответствующий заданной видоизмененной форме, с уточнением формы равновесия у второго стержня и определением коэффициента $\mu_{2,пл}$ по формуле (6).

Новый метод вычисления характеристик $\mu_{j,пл}$ использовался для расчета 117 образцов двухъярусных стержневых конструкций. В численных экспериментах, описанных в работах [4–7] и ниже в данной статье, применялась единая маркировка образцов. В марке последняя (третья) цифра, если она имеется и отделяется от предшествующей цифры запятой, – это номер (с 1 по 9) образца в серии; вторая – номер серии в конструктивном типе; первая цифра – код типа (цифры с 2 по 4).

Примечание. К первому конструктивному типу отнесены одноярусные стержни, включая эталонные, которые, имея определенные условия закрепления по концам, работают не в составе стержневых систем, а отдельно. Для них известны табличные значения коэффициентов $\mu_{уп}$, не вызывающие сомнений и не требующие корректировки.

В численных экспериментах, в которых осуществлялся сопоставительный анализ приближенных коэффициентов $\mu_{j,уп}$, рассматривались образцы трех типов: двухъярусные неразрезные стойки без ригелей – пять серий (рис. 1–5); стойки несвободных рам – три серии (рис. 6–8); стойки свободных рам – пять серий (рис. 9–13). На рис. 1*, 6* и 7* приведены расчетные схемы, которые по фактору устойчивости эквивалентны схемам, изображенным на рисунках с такими же номерами, но без звездочек.

В образцах длины стержней первого и второго ярусов различны: $l_1 = l_2$; $l_1 = 4l_2$; $l_1 = 0,25l_2$. Диапазон распределения нагрузок N_2/N_1 составлял 0,1–1,0. Соотношение i_2/i_1 изменялось от 0,1 до 2, а соотношение между погонными жесткостями у ригелей и нижнего стержня $i_{p,k}/i_1$ – в пределах 0,2–4. Все образцы рассчитывались разными методами. Например, для образца 3.3,5 результаты расчетов сгруппированы в табл. 1 и представлены графиком на рис. 14.

Т а б л и ц а 1

Исходные данные		Результаты решений задач устойчивости						
параметры образца 3.3,5	значения	μ_1 (рис. 14)	$\mu_{2,пл}$ (ряд 1)	$\mu_{2,пр}$ (ряд 2)	$\mu_{2,пар}$ (ряд 3)	$\mu_{2,г}^*$ (ряд 4)	$\mu_{2,эм,н}$ (ряд 5)	$\mu_{2,в}$ (ряд 6)
N_2/N_1	0,5	0,7	4,302	-	-	-	-	-
		0,72	3,404	-	-	-	-	-
l_2/l_1	0,25	0,74	2,9	-	-	-	-	-
		0,764	2,495	2,495	-	-	-	1,492
$E_2 \cdot J_2 / E_1 \cdot J_1$	0,3333	0,782	2,166	-	-	-	-	-
		0,8	1,865	-	-	-	-	-
ν_2/ν_1	0,3062	0,839	1,236	-	-	-	-	-
		0,856	0,974	-	-	-	-	-
i_2/i_1	1,3333	0,879	0,785	-	0,929	-	-	-
$i_{p,1}/i_1$	0,6667	0,884	0,768	-	-	-	0,907	-
$i_{p,2}/i_1$	1,3333	0,893	0,748	-	-	0,916	-	-
$i_{p,3}/i_1$	0,6667	0,915	0,722	-	-	-	-	-
		0,95	0,705	-	-	-	-	-

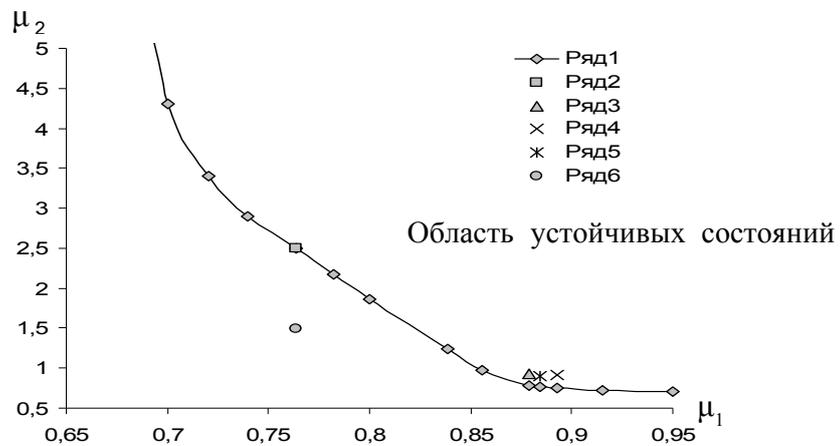
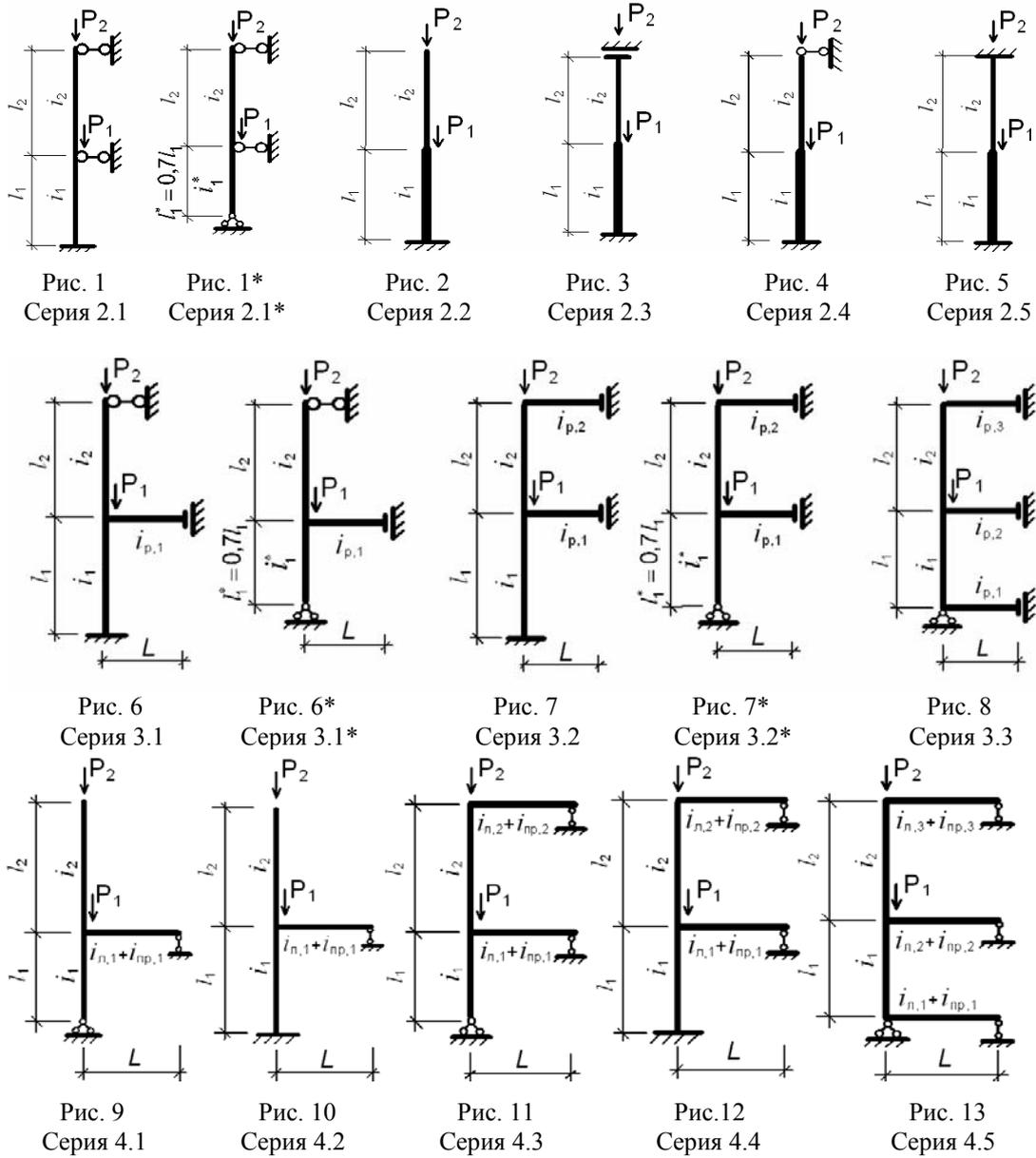


Рис. 14. Пограничная кривая $\mu_{j,пл}$ и частные значения $\mu_{j,уп}$ для образца 3.3,5

Основные выводы сопоставительного анализа:

1. Для стойки рамы величина коэффициента длины верхней части $\mu_{2,пл}$ находится в функциональной зависимости не только от расчетной ее схемы, распределения нагрузок и геометрических размеров, но и от значения коэффициента длины $\mu_{1,пл}$ примыкающего снизу элемента.

2. Результаты решения задачи устойчивости в двухмерном пространстве представляют собой вогнутую, со стороны устойчивых состояний, кривую, отдельный фрагмент которой может быть выпуклым. Кривая с зависимостью $\mu_{2,пл} = F(\dots \mu_{1,пл})$ является пограничной и разделяет области устойчивых и неустойчивых состояний колонн, спроектированных по формулам СП 53-102-2004 и имеющих некоторые собственные (фактические) значения коэффициентов $\mu_{j,соб}$, которые определяются обратными вычислениями.

3. Колонны, имеющие собственные значения коэффициентов $\mu_{j,соб}$, совпадающие со значениями коэффициентов $\mu_{j,пл}$, лежащими на пограничной кривой, не будут иметь излишнего ресурса устойчивости.

4. Высшие коэффициенты $\mu_{j,в}$ всегда располагаются вне области устойчивых состояний, и гипотеза о возможности проявления высших форм при потере системой устойчивости является неправомерной. Из этого следует, что их нельзя применять при проектировании. Кроме того, с коэффициента $\mu_{2,пр,н}^*$ надо снять ограничение по величине (не более 3 – см. СП 53-102-2004 или СНиП II-23-81* – формулу (167)).

5. Характеристики $\mu_{j,пр}$ всегда лежат на пограничных кривых и могут использоваться наряду с другими возможными значениями коэффициентов $\mu_{j,пл}$. Вместе с тем действие Норм и СП 53-102-2004 распространено не на весь диапазон значений исходных параметров, и в отдельных случаях, встречающихся в практике проектирования, рекомендации по определению $\mu_{j,пр,н}$ отсутствуют.

6. Факт постоянного расположения частных значений коэффициентов $\mu_{j,пр}$ на пограничных кривых не означает, что, используя только эти значения, всегда удастся исключить излишний ресурс устойчивости, появляющийся из-за того, что, применяя при проектировании результаты решения задачи устойчивости в виде фиксированных значений коэффициентов $\mu_{j,пр}$ или любых других характеристик $\mu_{j,уп}$, нельзя, за редким исключением, добиться их соответствия собственным значениям $\mu_{j,соб}$.

7. Неоправданный запас (излишний ресурс устойчивости) связан с перерасходом материала. Специалисты должны владеть всем многообразием коэффициентов расчетных длин, в том числе иметь табличную базу данных по уточненным численным значениям характеристик устойчивости $\mu_{j,пл}$.

Т а б л и ц а 2

№ п/п	Схемы стоек в сериях 2.1 – 4.5					
	2.1	2.2, 2.4 и 2.5	2.3	3.1	3.2 и 3.3	4.1 – 4.5
1	Дефицит ресурса устойчивости, достигающий (-10) %: $\left. \begin{matrix} N_j \leq N_{j,д} \\ N_{j,д} \geq N_{j,ф} \end{matrix} \right\}$					
	$\mu_{j,в}$	$\mu_{j,пр,н}^*$ и $\mu_{j,в}$	$\mu_{j,пр,н}^*$ и $\mu_{j,в}$	$\mu_{j,в}$	$\mu_{j,в}$	$\mu_{j,в}$
2	Избыточный ресурс устойчивости 0 – (+20) %: $\left. \begin{matrix} N_j \leq N_{j,д} \\ N_{j,д} \leq N_{j,ф} \end{matrix} \right\}$					
				$\mu_{j,эм,н}$, $\mu_{j,эм}$ и $\mu_{j,т}^*$	$\mu_{j,пар}$, $\mu_{j,эм,н}$ и $\mu_{j,эм}^*$	$\mu_{j,пар}$ и $\mu_{j,т}^*$
3	Разброс ресурса (-10) – (+15) %: $\left. \begin{matrix} N_j \leq N_{j,д} \\ N_{j,д} \geq N_{j,ф} \end{matrix} \right\}$ или $\left. \begin{matrix} N_j \leq N_{j,д} \\ N_{j,д} \leq N_{j,ф} \end{matrix} \right\}$					
	$\mu_{j,пар}$	$\mu_{j,пар}$	$\mu_{j,пар}$	$\mu_{j,пар}$		$\mu_{j,эм,н}$ и $\mu_{j,эм}$
4	Избыточный ресурс 0 – (+15) %: $\left. \begin{matrix} N_j \leq N_{j,д} \\ N_{j,д} = N_{j,ф} \end{matrix} \right\}$					
	$\mu_{j,пр}$ и $\mu_{j,т,н}$	$\mu_{j,пр}$ и $\mu_{j,пр,н}$	$\mu_{j,пр}$, $\mu_{j,пр,н}$ и $\mu_{j,т}$	$\mu_{j,пр}$	$\mu_{j,пр}$	$\mu_{j,пр}$
5	Избыточный ресурс устойчивости 0 – (+3) %: $\left. \begin{matrix} N_j = N_{j,д} \\ N_{j,д} = N_{j,ф} \end{matrix} \right\}$					
	$\mu_{j,пл}$	$\mu_{j,пл}$	$\mu_{j,пл}$	$\mu_{j,пл}$	$\mu_{j,пл}$	$\mu_{j,пл}$

В табл. 2 обобщены показатели качества при использовании коэффициентов $\mu_{j,уп}$ и $\mu_{j,пар}$ в практике проектирования центрально-сжатых стоек. Показатели качества в виде итоговых отклонений, обусловленных расхождениями между расчетными $N_{j,д}$ и фактическими $N_{j,ф}$ данными по несущим способностям и, кроме того, расхождениями между $N_{j,д}$ и исходными внешними нагрузками N_j , оценены в процентах (при дискретности сортамента металлопроката по площадям поперечных сечений – в 15 %).

П р и м е ч а н и е . В данной статье для нагрузок N_j и других физических величин применялись такие же условные обозначения, как и в работе [1].

Список литературы

1. Иващенко, А.М. Особенности расчета характеристик устойчивости для колонн из стали и высокопрочных бетонов в стойках каркасов зданий / А.М. Иващенко, В.И. Калашников, А.А. Каргин // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 2. – С.28–33.
2. Иващенко, А.М. Вариационный метод определения коэффициентов расчетных длин для колонн каркасов зданий / А.М. Иващенко, С.В. Бакушев // Изв. вузов. Строительство. – 2006. – № 6. – С. 4 – 10.
3. Иващенко, А.М. Пакет программ "Определение расчетного параметра устойчивости для колонн каркасов зданий «РПУ – $\mu_{j,пл}$ »" / А.М. Иващенко; М-во образования Рос. Федер., ПГУАС.– Пенза, 2003.– Регистр. в национал. информ. фонде неопублик. документов 28.01.04, № 50200400043.
4. Иващенко, А.М. О практическом применении характеристик устойчивости для колонн в стойках без ригелей / А.М. Иващенко // Изв. вузов. Строительство. – 2008. – № 3. – С. 4–9.
5. Иващенко, А.М. Вариационный анализ характеристик устойчивости стальных колонн в несмещаемых рамах / А.М. Иващенко // Изв. вузов. Строительство. – 2008. – № 9. – С. 109–114.
6. Иващенко, А.М. Анализ характеристик устойчивости стальных колонн в свободных рамах / А.М. Иващенко // Изв. вузов. Строительство.– 2009. – № 5.– С. 102-108.
7. Иващенко, А.М. Развитие теории и методов расчета устойчивости стальных колонн каркасов зданий: моногр.– Пенза: ПГУАС, 2008.– 316 с.

References

1. Ivashenko, A.M. Features of calculation of characteristics of stability for columns from steel and high-strength concrete in racks of skeletons of buildings / A.M. Ivashenko, V.I. Kalashnikov, A.A. Kargin // Regional architecture and Building. – 2012. – № 2. – P.28–33.
2. Ivashenko, A.M. The variation method of definition of factors of settlement lengths for columns of skeletons of buildings / A.M. Ivashenko, S.V. Bakushev // News of high schools. Building. – 2006. – №6. – P. 4–10.
3. Ivaschenko, A.M. Software package “Definition of settlement parameter of stability for columns of skeletons of buildings» RPY – $\mu_{j,пл}$ ” / A.M.Ivaschenko; the Ministry of Education of the Russian Federation, PGUAS. – Penza, 2003. – the Register. In национал. In-forms. Fund of neopublics. Documents 28.01.04, № 50200400043.
4. Ivashenko, A.M. About practical application of characteristics of stability for columns in racks without crossbars / A.M. Ivashenko // News of high schools. Building. – 2008. – №3. – P. 4–9.
5. Ivashenko, A.M. The variation analysis of characteristics of stability of steel columns in not movable frames / A.M. Ivashenko // News of high schools. Building. – 2008. – №9. – P.109–114.
6. Ivaschenko, A.M. Analys of characteristics of stability of steel columns in svo-bodnyh frames / A.M.Ivaschenko//Izv. High schools. Stroitelstvo. – 2009. – № 5. – P. 102–108.
7. Ivaschenko, A.M.development of the theory and methods of calculation of stability steel to-lonn skeletons of buildings: the monography. – Penza: PGUAS, 2008. – 316 p.

Пензенская государственная
технологическая академия

Россия, 440039, г. Пенза,
пр. Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11

Бормотов Алексей Николаевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Автоматизация и управление»
E-mail: aleks21618@yandex.ru

Колобова Екатерина Александровна,
аспирант кафедры «Автоматизация и
управление»
E-mail: bel-eka@yandex.ru

Конопацкий Юрий Валерьевич,
студент 4 курса специальности
«Автоматизация технологических
процессов и производств»

Penza State Technology Academy

Russia, 440039, Penza, 1a/11,
Baidukova/Gagarina St.

Bormotov Alexei Nikolaevich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Automatic and Control»
E-mail: aleks21618@yandex.ru

Kolobova Ekaterina Alexandrovna,
Postgraduate of the department «Automatic
and Control»
E-mail: bel-eka@yandex.ru

Konopatskiy Yriy Valerevich,
4th year student of the specialty «Automation
of technological processes and productions»

МЕТОДИКА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА КАК ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ*

А.Н. Бормотов, Е.А. Колобова, Ю.В. Конопацкий

Композиционные материалы представляются как сложные технические системы, как объекты исследования и моделирования. Предлагается новый подход к решению задачи идентификации математических моделей различных структурных уровней композитов. На основе такого подхода выполняется системный анализ моделей свойств и структуры композиционных материалов специального назначения.

Ключевые слова: математическое моделирование, идентификация, управление качеством, композиционные материалы, структурообразование, многокритериальный синтез.

METHODOLOGY OF COMPOSITE MATERIAL PRESENTATION AS AN OBJECT OF RESEARCH AND MODELING

A.N. Bormotov, E.A. Kolobova, Y.V. Konopatsky

Composite materials are presented as complex technical systems, as objects of research and modeling. A new approach to the problem of identification of mathematical models of different levels of structural composites is offered. On the basis of this approach a system models analysis of properties and structure of composite materials for special applications is fulfilled.

Keywords: mathematical modeling, identification and control of quality property, composite materials, structure, multi-criteria synthesis.

Совершенствование традиционных и внедрение новых технологий, базирующихся на использовании более интенсивных физических воздействий и применении химически активных сред, требует привлечения новых эффективных и долговечных композиционных материалов (КМ), обеспечивающих экологическую безопасность и экономическую эффективность различных производств. Решение этих задач невозможно без учёта множества критериев окружающей среды, эксплуатационных характеристик материалов, показателей структуры и свойств, учёта рецептуры и

* Работа выполнена при поддержке гранта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 гг.; рук. Бормотов А.Н., ГК № 14.740.11.1066 от 24.05.2011 г.

технологии, т.е. композиционный материал необходимо рассматривать системно, как **сложную техническую систему**, испытывающую на себе комплекс воздействий и имеющую целый ряд управляемых параметров. Такой подход требует обобщения научных и методологических основ математического моделирования и многокритериального синтеза КМ, разработки математического аппарата анализа и синтеза КМ, проблемно ориентированных программных комплексов и создания на их основе композиционных материалов с заданными свойствами.

Эксплуатационные свойства КМ описываются распределёнными нелинейными динамическими моделями, в то время как математическое описание всего конгломерата композита производится линейными кинетическими моделями, таким образом, имеется **проблема перехода от нелинейных моделей микроуровней к линейным моделям макроуровней композита**.

Разрешение перечисленных проблем лежит на пути поиска новых подходов к математическому моделированию структурообразования КМ, создания на базе принципов системного анализа теории и практики математического моделирования структурных уровней КМ и управляющих рецептурно-технологических воздействий, разработки программных комплексов, обеспечивающих решение задачи многокритериального синтеза КМ.

Большое многообразие композиционных материалов, с одной стороны, и необходимость их изучения – с другой, породили значительное количество методов получения их математического описания, без которого немислимо решение задач прогноза, управления или выявления механизма структурообразования [1–5].

Первый этап исследования КМ – это выделение из всего многообразия материалов той части, поведение которой будет исследовано в данной работе в качестве предметной среды моделирования, а именно – композиционных материалов специального назначения. Объектом исследования (ОИ) является композиционный материал для защиты от радиации, представляющий собой сложную техническую систему взаимосвязанных элементов, в которой протекают процессы структурообразования и деструкции, подлежащие изучению при помощи моделирования (рис. 1).

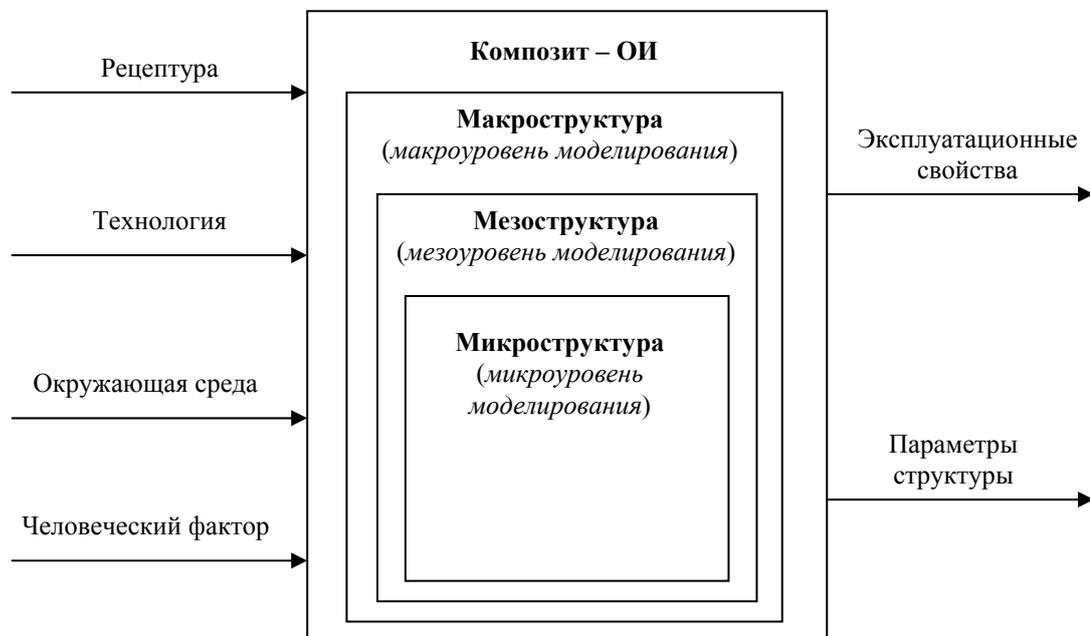


Рис.1. Схема композита как объекта исследования

Моделирование КМ направлено на выявление его внутренних свойств, структуры и взаимосвязей элементов, составляющих ОИ, которые проявляются во взаимодействии композита с окружающей средой и субъектом.

В самом общем случае композит со стороны окружающей среды находится под воздействием целого ряда факторов $\bar{Z}(t) = [z_1(t), z_2(t), \dots, z_l(t)]^T$, часть из которых $\bar{Z1}(t) = [z_{11}(t), z_{12}(t), \dots, z_{1n}(t)]^T$ (контролируемые воздействия) может быть измерена, а часть $\bar{Z2}(t) = [z_{21}(t), z_{22}(t), \dots, z_{2l_2}(t)]^T$ (неконтролируемые воздействия) – не поддается измерению или их влияние не существенно. Результатом моделирования КМ на этом этапе является установление взаимосвязи выходных координат объекта $\bar{Y}(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_k(t)]^T$, характеризующих свойства КМ, управляющих воздействий $\bar{U}(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t)]^T$, поступающих со стороны субъекта, и возмущений $\bar{Z}(t)$.

Существует множество понятий «**модель объекта**». Примем подход, основанный на представлении объекта в виде кибернетической системы, определяемой множеством входных воздействий

$$\bar{X}(t) = \{\bar{U}(t), \bar{Z}(t)\} = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_r(t)]^T,$$

среди которых есть контролируемые \bar{X}^* и неконтролируемые \bar{E} , и множеством характеристик и ограничений \bar{Q} , действующих в системе и накладываемых на \bar{X}^* и \bar{E} , $A = \{\bar{X}^*, \bar{E}, \bar{Q}\}$.

Математическая модель кибернетической системы устанавливает отображение F заданных множеств на множество выходных координат объекта $\bar{Y}(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_k(t)]^T$:

$$F := \{\bar{X}^*, \bar{E}, \bar{Q}\} \rightarrow \bar{Y},$$

то есть

$$\bar{Y} = F\{\bar{X}^*, \bar{E}, \bar{Q}\}.$$

Основополагающим в моделировании является *принцип изоморфизма*.

Две системы $A_1 = \{\bar{X}_1^*, \bar{E}_1, \bar{Q}_1\}$ и $A_2 = \{\bar{X}_2^*, \bar{E}_2, \bar{Q}_2\}$ строго изоморфны, если:

- между элементами воздействий можно установить взаимно однозначное соответствие;
- между элементами множеств \bar{Q}_1 и \bar{Q}_2 можно установить взаимно однозначное соответствие таким образом, что каждому элементу из \bar{Q}_1 , выражающему ориентированное отношение между двумя элементами \bar{X}_1^*, \bar{E}_1 , будет соответствовать элемент из \bar{Q}_2 , выражающий то же самое ориентированное отношение между элементами из \bar{X}_1^*, \bar{E}_1 .

Строгий изоморфизм между двумя системами означает наличие взаимно однозначного соответствия не только между входными воздействиями и характеристическими множествами (\bar{Q}_1 и \bar{Q}_2), но и между выходными координатами систем.

Данное утверждение находит доказательство в работах И.А. Рыбьева [5] о **теории искусственных конгломератов** в части формулировки законов створа и конгруэнции, а также в работах В.И. Соломатова [6] о **полиструктурной теории** в части формулировки *принципа полиструктурности* композиционных материалов и *закона подобия* кластерных систем.

В практических исследованиях структуры и свойств КМ предпринимаются попытки построить модель, изоморфную реальной задаче только в отношении ограниченного числа специфических свойств, то есть обладающую ограниченным изоморфизмом [7].

Модели объекта или системы принадлежат к тому же классу, что и описывающие их операторы преобразования. Как в непрерывном, так и дискретном времени при классификации математических моделей объектов обычно выделяют следующие четыре независимые бинарные признака [8]:

линейные (Л) или нелинейные ($\bar{Л}$);

стационарные (С) или нестационарные ($\bar{С}$);

детерминированные (Д) или стохастические ($\bar{Д}$);

сосредоточенные (конечномерные) (К) или распределённые (бесконечномерные) ($\bar{К}$).

Декомпозиция ММ композиционных материалов на основе этих признаков позволяет выделить 16 (2^4) классов непрерывных и столько же – дискретных ММ систем (рис. 2), которые могут быть распределены по пяти уровням сложности операторов:

ЛСДК;

$\bar{Л}$ СДК, $\bar{Л}$ $\bar{С}$ ДК, Л $\bar{С}$ ДК, ЛС $\bar{Д}$ К;

$\bar{Л}$ $\bar{С}$ ДК, $\bar{Л}$ С $\bar{Д}$ К, $\bar{Л}$ СД $\bar{К}$, Л $\bar{С}$ Д $\bar{К}$, ЛС $\bar{Д}$ $\bar{К}$;

$\bar{Л}$ $\bar{С}$ $\bar{Д}$ К, $\bar{Л}$ С $\bar{Д}$ $\bar{К}$, $\bar{Л}$ СД $\bar{К}$, Л $\bar{С}$ Д $\bar{К}$;

$\bar{Л}$ $\bar{С}$ $\bar{Д}$ $\bar{К}$.

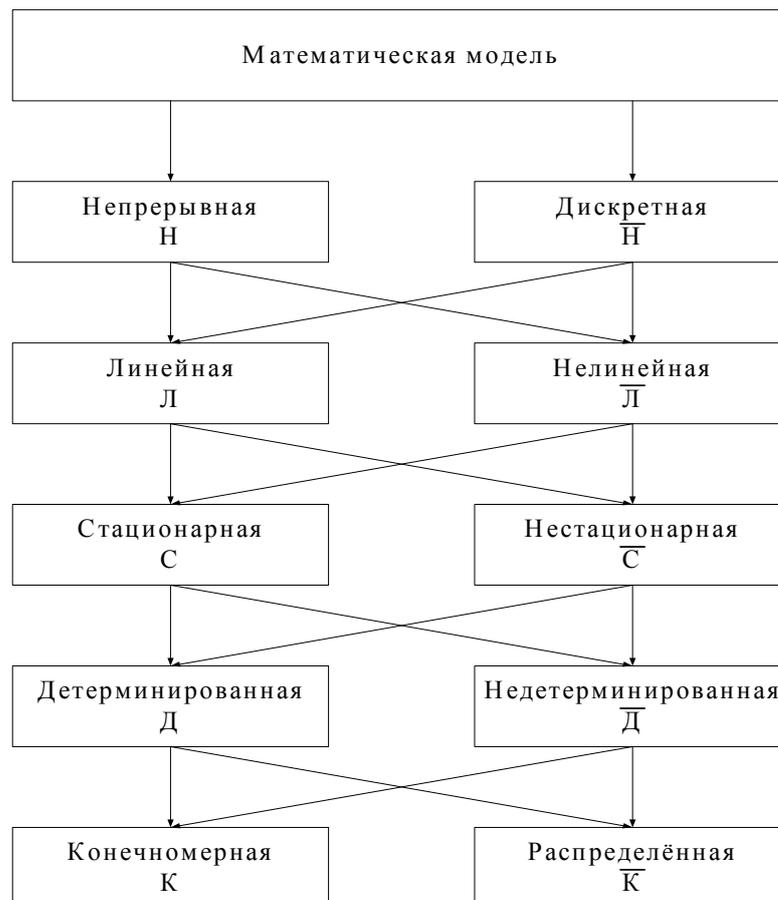


Рис. 2. Математические модели КМ

Простейший класс моделей – ЛСДК – линейные стационарные детерминированные конечномерные модели имеют форму обыкновенных линейных дифференциальных (разностных) уравнений с постоянными детерминированными коэффициентами и соответствуют линейным стационарным объектам с сосредоточенными координатами, широко используемыми для описания параметров структуры и свойств макроуровня композитов.

Математические модели первого уровня сложности, имеющие в операторе одно отрицание, объединяют четыре класса систем: нелинейные стационарные детерминированные конечномерные; линейные нестационарные детерминированные конечномерные; линейные стационарные стохастические конечномерные; линейные стационарные детерминированные бесконечномерные. Применяются для математического описания процессов образования структуры дисперсных систем с учетом термодинамических условий флокулообразования при моделировании мезоуровня композитов.

Операторы второго и третьего уровней сложности, имеющие соответственно два и три отрицания, объединяют соответственно шесть и четыре различных класса математических моделей (ММ) и применяются для математического описания систем взаимодействующих частиц вещества (КМ) при моделировании структурообразования микроуровня композитов.

Наиболее сложные математические модели, соответствующие четвертому уровню сложности, – ЛДСК – нелинейные нестационарные стохастические бесконечномерные – описываются нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных с переменными случайными параметрами. Применяются для математического описания взаимодействий элементарных частиц вещества (КМ) в нелинейных модельных задачах.

Анализ и синтез систем, описываемых операторами второго и выше уровней, как правило, возможен только численными методами с применением средств вычислительной техники.

Поскольку задача идентификации сводится, как правило, к определению структуры модели объекта и восстановлению её параметров, в качестве основы для классификации объектов принимаем степень предварительной изученности композита. При наличии априорной информации все объекты могут быть разделены на следующие группы (рис. 3):

- объекты, для которых известны описывающие их динамику операторные уравнения (например, дифференциальные уравнения) вплоть до приблизительных значений коэффициентов;
- объекты, для которых известны описывающие их динамику операторные уравнения, а численные значения коэффициентов неизвестны;
- объекты, для которых конкретный вид уравнения и численные значения параметров неизвестны, но имеется некоторая априорная информация (объект линеен, объект содержит нелинейность определенного вида и т.д.);
- объекты, относительно которых отсутствуют какие-либо априорные сведения (объекты типа «чёрный ящик»).

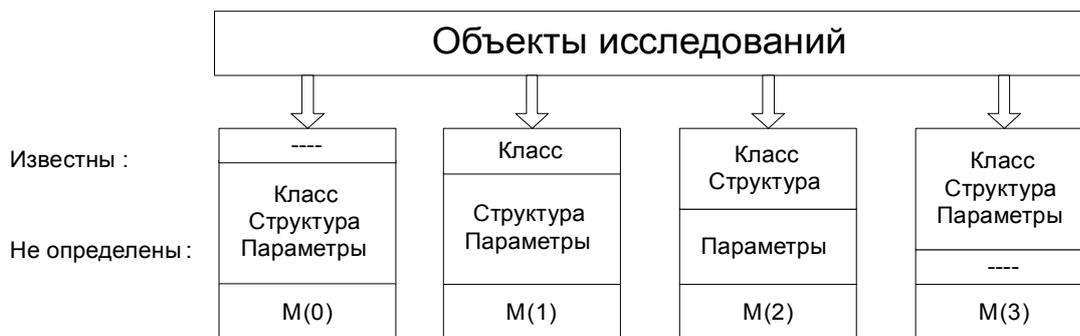


Рис. 3. Классификация объектов по степени изученности

Представим механизм идентификации моделей композитов как процесс повышения ранга R модели $M(R)$ – сокращения неопределённости модели посредством выбора из множества моделей $M = M(v) = \{M(v+1)\}_{v=0,3}$, требуемой за счёт привлечения дополнительной информации о композите. Модели $M(3)$ третьего ранга полностью определены (см. таблицу) и соответствуют ОИ первой группы.

Модели композитов различных рангов неопределённости

Ранг (R)	Модель	Класс	Структура	Параметры
0	$M(0)$	–	–	–
1	$M(1)$	+	–	–
2	$M(2)$	+	+	–
3	$M(3)$	+	+	+

Наименьшая неопределённость при решении задачи идентификации соответствует заданию множества M моделями второго ранга неопределённости $M = M(2) = \{M(3)\}$, т.е. множеством полностью определённых моделей систем третьего ранга, когда известны (см. таблицу): класс модели объекта и структура операторов элементов модели, а не определены параметры модели ОИ.

Требуется из множества $M = M(2) = \{M(3)\}$ выбрать модель с известными параметрами, т.е. найти единственную модель или подкласс моделей $M(3)$.

Таким образом, первая и наиболее простая задача – задача **параметрической идентификации** – состоит в поиске параметров модели, удовлетворяющих заданным критериям, что соответствует повышению ранга неопределённости R модели системы со второго до третьего $M = M(2) = \{M(3)\} \rightarrow M(3)$ (рис. 4). Такие объекты относятся ко второй группе.

Элементы исходного множества M могут различаться структурами операторов и могут быть заданы моделями первого ранга неопределённости $M = M(1) = \{M(2)\}$, т.е. множеством полностью определённых моделей систем второго ранга, когда известен (см. таблицу) класс модели и неопределённые структура операторов модели; параметры модели.

Требуется из множества $M = M(1) = \{M(2)\}$ выбрать модель с известной структурой операторов (см. рис. 4), т.е. найти единственную или подкласс моделей $M(2)$. В частном случае может решаться задача подбора функциональной зависимости для модели известного класса путём вариации видов функциональных преобразований $\delta F_i \{ \bar{X}^*, \bar{E}, \bar{Q} \}$.

В результате решения второй задачи – задачи **структурной идентификации** – выбирается подмножество структур операторов (в частном случае – единственная структура), что соответствует повышению ранга неопределённости R модели с первого до второго $M = M(1) = \{M(2)\} \rightarrow M(2)$. Объекты, задаваемые множествами моделей второго ранга, образуют третью группу.

Множество M может быть задано моделью нулевого ранга неопределённости (максимальная степень неопределённости) $M = M(0) = \{M(1)\}$, т.е. множеством полностью определённых моделей систем первого ранга (множеством моделей различных классов), когда не определены (см. таблицу):

- класс модели;
- структура операторов модели;
- параметры модели.



Рис. 4. Вложенная структура идентификации

Требуется из множества $M = M(0) = \{M(1)\}$ выбрать ММ известного класса, т.е. найти единственную или подкласс моделей $M(2)$ (см. рис. 4). Объекты, задаваемые множествами моделей первого ранга, образуют четвертую группу. В результате решения третьей задачи выбирается подмножество классов (в частном случае – единственный класс), что соответствует повышению ранга неопределённости R модели с нулевого до первого $M = M(0) = \{M(1)\} \rightarrow M(1)$.

Совокупность решаемых задач построения ММ (см. рис. 4) образует вложенную структуру, в которой выбор класса модели в качестве внутренних включает задачи структурной и параметрической идентификации. В свою очередь выбор структуры модели охватывает решение задач параметрической идентификации.

Классификация композитов по степени предварительной изученности и представление механизма построения модели композита в виде вложенной структуры (см. рис. 4) позволяют определить требования к методам математического моделирования, к численным методам синтеза математических моделей структуры и свойств композитов и комплексу программ многокритериального синтеза композитов.

При автоматическом выборе структуры модели композита при программной реализации требуется анализ множества структур моделей, поэтому наиболее важным является быстрое действие, поскольку структурная идентификация модели требует многократного повторения процедуры параметрической идентификации. В то же время требования к точности расчёта оценок параметров могут быть снижены до уровня, достаточного для различения моделей наиболее близких структур.

Последний этап параметрической идентификации, напротив, должен обеспечивать повышенную точность расчёта оценок ММ композитов, так как полученные на этом этапе оценки моделей структуры и свойств композитов являются окончательными. При этом требования к быстродействию оценивания параметров модели могут быть ослаблены, так как параметры ММ на этом этапе достаточно вычислить только один раз.

Разработанные методы структурной и параметрической идентификации математических моделей КМ с использованием нелинейных преобразований координат и синтеза нелинейных многофакторных математических моделей по результатам однофакторных экспериментов с единым типом преобразования выходных координат были эффективно апробированы при многокритериальном синтезе радиационно-защитных композитов на различных вяжущих [4].

Список литературы

1. Самарский, А.А. Математическое моделирование / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М.: Физматлит, 1997. – 184 с.
2. Бормотов, А.Н. Математическое моделирование и многокритериальный синтез композиционных материалов / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, Е.В. Королёв. – Пенза: ПГТА, 2011. – 354 с.
3. Прошин, И.А. Структурно-параметрический синтез математических моделей в задачах обработки экспериментально-статистической информации / И.А. Прошин, Д.И. Прошин, Н.Н. Прошина. – Пенза: Изд-во ПГТА, 2007. – 178 с.
4. Бормотов, А.Н. Математическое моделирование и многокритериальный синтез композиционных материалов специального назначения: дис... д-ра техн. наук: 05.13.18: защищена 22.12.2011: утверждена 30.08.2012 / Бормотов Алексей Николаевич. – Пенза, 2011. – 316 с.
5. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение: учеб. пособие для строит. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 2002. – 701 с.
6. Соломатов, В.И. Элементы общей теории композиционных строительных материалов / Успехи строительного материаловедения: материалы юбилейной конференции. – М.: МИИТ, 2001. – С. 41 – 56.
7. Бормотов, А.Н. Многокритериальный синтез композита как задача управления / А.Н. Бормотов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16. – № 4. – С. 924 – 937.
8. Пупков, К.А. Методы анализа, синтеза и оптимизации нестационарных систем автоматического управления / К.А. Пупков, Н.Д. Егупов, В.Г. Коньков, Л.Т. Милов, А.И. Трофимов; под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 684 с.

References

1. Samarskii, A.A. Mathematical modeling / A.A. Samarskii, A.P. Mikhailov. – Fizmatlit, 1997. – 184 p.
2. Bormotov, A.N. Mathematical modeling and multi-criteria synthesis of composite materials / A.N. Bormotov, I.A. Proshin, E.V. Korolev. – Penza: PGTA, 2011. – 354 p.
3. Proshin, I.A. Structural and parametric synthesis of mathematical models to problems of experimental and statistical information / I.A. Proshin, D.I. Proshin, N.N. Proshina. – Penza: Publishers PGTA, 2007. – 178 p.
4. Bormotov, A.N. Mathematical modeling and multi-criteria synthesis of composite materials for special applications: diss ... Doc. of Science: 05.13.18: protected 22.12.2011: Approved 08.30.2012 / Bormotov Alexey Nicolaevich. – Penza, 2011. – 316 p.
5. Rybev, I.A. Construction Materials: Textbook. manual builds. specials. universities. – M.: Higher School, 2002. – 701 p.
6. Solomatov, V.I. Elements of the general theory of composite building materials / Successes in building materials: materials of the universaty conference. – M.: MIIT, 2001. – P. 41–56.
7. Bormotov, A.N. Multicriteria synthesis of composite as a task of management / A.N. Bormotov // Vestnik of the Tambov State Technical University. – 2010. – T. 16. – № 4. – P. 924–937.
8. Pupkov, K.A. Methods of analysis, synthesis and optimization of non-stationary systems of automatic control / K.A. Pupkov, N.D. Egupov, V.G. Konkov, L.T. Milov, A.I. Trofimov, ed. N.D. Egupova. – M.: Publishing House of the MSTU. N.E. Bauman, 1999. – 684 p.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Макридин Николай Иванович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»

Максимова Ирина Николаевна,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Стандартизация, сертификация
и аудит качества»

E-mail: maksimovain@mail.ru

Симаков Михаил Васильевич,
аспирант кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»
E-mail: simakoff86@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Makridin Nikolay Ivanovich,
Doctor of Science, Professor
of the department «Technologies of building
materials and wood processing»

Maksimova Irina Nikolaevna,
Candidate of Science, Associate Professor
of the department «Standartization,
certification, quality audit»

E-mail: maksimovain@mail.ru

Simakov Mikhail Vasilyevich,
Postgraduate of the department «Technologies
of building materials and wood processing»
E-mail: simakoff86@mail.ru

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КЕРАМЗИТОВОГО ГРАВИЯ ДЛЯ БЕТОНОВ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

Н.И. Макридин, И.Н. Максимова, М.В. Симаков

Получены данные о кристаллической и аморфной фазах зерен керамзита и определены особенности их структурообразования. Представлены экспериментальные результаты по оценке диаграммы сжатия керамзитового гравия как обобщающей характеристики его механических свойств.

Ключевые слова: гранулы керамзита, аморфная и кристаллическая фазы, ячеистая пористость, оксиды металлов, структура, диаграмма сжатия, деформативность.

ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF CLAYDITE GRAVEL FOR HIGH STRENGTH CONCRETE

N.I. Makridin, I.N. Maksimova, M.V. Simakov

The authors have got data on crystal and amorphous phases of claydite grains and peculiarities of their structure and present experimental results on evaluation of claydite gravel compression diagram as a general characteristic of its mechanical properties.

Keywords: crystalline, amorphous and crystal phases, structure, oxide metals, viscosity, chemical bonds, deformability.

Как известно, в классическом материаловедении различают понятия строение и структура материала. В строительном материаловедении эти понятия отождествляют, приписывая им одно и то же значение (см. Советский энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1980. – 1600 с.): «Структура (строение, расположение, порядок) – совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, то есть сохранение основных свойств при различных внешних и внутренних изменениях».

Многие природные и искусственные каменные материалы, в том числе и керамзит, в своем составе содержат как кристаллическую, так и аморфную фазы. Соотношение между объемами кристаллической и объемной фазами, а также их взаимное

расположение оказывают большое влияние на физико-технические свойства материалов, имеющих такую структуру [1].

В общем случае кристаллическая фаза керамзита складывается из разрозненных кристаллов, часть которых относится к природным – первичным кристаллам, а часть – к новообразованиям, возникающим в период формирования пиропластической массы – сложного соединения, состоящего из расплава и твердых включений (первичных кристаллов – кварца, некоторых полевых шпатов, и вторичных – муллита, шпинелей и пр.), а также при охлаждении гранул (магнетита, гематита, волластонита и пр.).

Средний фазовый состав, по Б.Н. Виноградову [2], представлен преобладающей фазой – кислым алюмосиликатным стеклом, аморфизированное глинистое вещество, кристаллы гематитов в поверхностном слое гранул, и второстепенной фазой – кварц, гематит, мелилит, шпинель, магнетит, полевые шпаты, муллиты.

Общее содержание кристаллической фазы зависит от состава керамической массы, количества и химической активности плавней, газовой среды, температуры, длительности обжига и выдержки материала при максимальной температуре. Оптимальное содержание этой фазы составляет 55-65 % от общего объема твердой фазы.

Весьма активной составляющей кристаллической фазы является остаточный кварц, размер зерен которого колеблется в среднем от 2–3 до 120–130 мкм при среднем размере 10–25 мкм.

Количество аморфной фазы у керамзита с насыпной плотностью гранул более 500 кг/м³ может изменяться в достаточно широких пределах. Однако, с точки зрения получения заполнителя повышенной прочности, можно считать содержание стекловидной фазы оптимальным по объему, что соответствует 35–45 %. Распределяясь между кристаллами и зёрнами минералов в виде тончайших пленок, она обеспечивает их прочную связь. Излишек аморфной фазы, как и ее недостаток, снижают физико-технические свойства заполнителя.

Следует отметить, что стекловидная фаза не только является связующим ингредиентом для остальных нестекловидных компонентов некерамического черепка, но и участвует в процессах образования новых кристаллических фаз при обжиге и охлаждении заполнителя.

Появление кристалликов в стеклообразующем расплаве существенно отражается на вязкости. Как правило, вязкость при этом резко возрастает с течением времени. В результате развития процесса кристаллизации вязкость размягченных стекол может возрастать и с повышением температуры. Каждому показателю температуры, занимающему положение между линиями ликвидуса и солидуса, отвечает своя равновесная структурная вязкость. В общем случае кристаллизационные способности стекол зависят от следующих факторов: степени связности кремнекислородного каркаса, координационного состояния и валентности катионов.

Как известно, оксид SiO₂ в расплаве и стекле существует в форме тетраэдров SiO₄, которые в зависимости от того, в каком количестве присутствуют в стекле компоненты Me₂O и MeO, обладают разными свойствами, поскольку мостиковый («двусвязный») кислород отличается по свойствам от немостикового («односвязного») кислорода. Другими словами, свойства SiO₄ тетраэдров зависят в первую очередь от степени связности кислородного каркаса. Мерой степени связности служит отношение числа атомов кремния к числу атомов кислорода. Изменение степени связности SiO каркаса особенно резко сказывается на вязкости стекол и на других зависящих от вязкости свойствах. В системе Na₂O–SiO₂ вязкость падает на 7–8 порядков с уменьшением названного отношения. Флюсующее действие окислов объясняется разрывом мостиков SiO–O–SiO.

Понятие о координации катионов принимается в кристаллохимии как главнейший принцип, лежащий в основе теории строения кристаллических силикатов и других ионных соединений. Зависимость свойств кристаллических ионных соединений от их структуры обусловлена, в первую очередь, координационными числами катионов относительно ионов кислорода. Экспериментальные данные и результаты структурных исследований дают основание утверждать, что учение о координации и взаимо-

замещаемости ионов в кристаллических силикатах может быть перенесено в общей форме, но с некоторыми особенностями, и на стеклообразное состояние силикатов.

Природа окиси алюминия при вхождении последнего в щелочное силикатное стекло претерпевает глубокое изменение. Координационное число алюминия в корунде равно 6, а при вхождении в щелочное стекло координационное число Al^{3+} , как правило, снижается с 6 до 4. В присутствии крупных катионов K^+ , Na^+ , Ca^{2+} создаются благоприятные возможности для изоморфного замещения в решетке кристаллических силикатов ионов Si^{4+} на ионы Al^{3+} . Катионы малого радиуса (Mg^{2+} , Fe^{2+} и др.), напротив, препятствуют этому процессу.

Согласно современным представлениям, ионы железа могут замещать группы SiO_4 , то есть выступать в роли стеклообразователей с координационным числом 4. При этом железосодержащая фаза является менее устойчивой по сравнению с силикатной и образует в стекле целый ряд зародышей типа магнетита, магелита и др.

В восстановительной среде ионы железа находятся в двухвалентной форме, поэтому в центральных частях структуры пористых заполнителей, формировавшейся в восстановительной среде, они имеют шестерную координацию. Кристаллизационная способность силикатных стекол резко возрастает, если суммарное содержание молей $Fe_2O_3 + NiO_2 + Al_2O_3$ превышает $0,25SiO_2$.

Большое влияние на физико-механические свойства зерен керамзитового гравия оказывает объемное содержание ячеистой пористости, соответственно, толщина межпоровых перегородок и собственные остаточные напряжения, возникающие в процессе структурообразования гранул керамзита.

Пористость гранул, определяемая наличием ячеек размером более 0,1 мм – макропористость, и ячеек размером менее 0,1 мм – микропористость, которую часто называют пористостью межпоровых перегородок.

Пределные значения ячеистой пористости и плотности материала зависят от пространственного расположения пор (упаковки), распределения их по размерам, максимального и среднего размера пор, их формы, толщины межпоровых перегородок. Внутризерновая пористость распределена по объему гранулы неравномерно. Наибольший объем пористости и размер пор характерны для центральной зоны зерна, наименьший – для наружной зоны.

Толщина межпоровой перегородки зависит от размера зерен твердой фазы, входящих в ее состав в момент вспучивания.

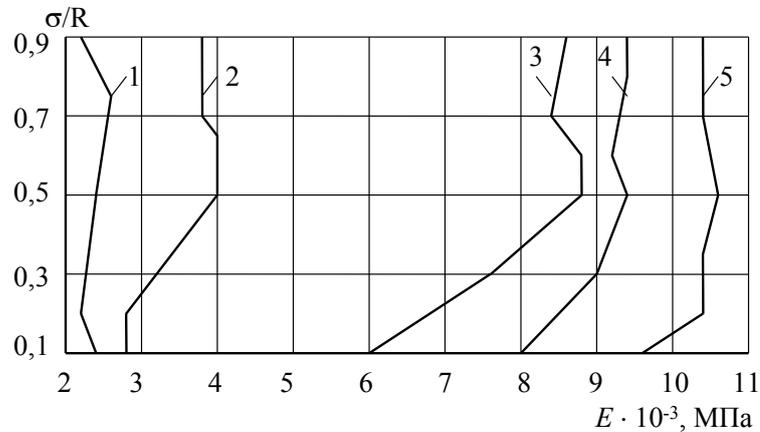
Алюмосиликатные расплавы в момент вспучивания могут содержать твердые включения в виде первичных кристаллов кварца, полевых шпатов, а также кристаллов, образовавшихся в процессе разложения глинистых минералов, спекания и последующего охлаждения расплава.

Ранее [3] было показано, что в процессе получения керамзита в нем возникают остаточные напряжения под влиянием градиента температур при охлаждении, неоднородности структуры и фазовых превращений, оказывающие заметное влияние как на особенности деформации гранул керамзита при переменном насыщении в воде и высушивании, так и на структурообразование керамзитобетона.

Отмеченные выше особенности аморфно-кристаллитной структуры искусственного керамзитового гравия и возникающих остаточных напряжений в его структуре проявляются, прежде всего, в механическом поведении зерен керамзита при осевом сжатии. Учитывая большое практическое значение понимания природы механического поведения керамзитобетона на кривой нагружения для его дальнейшего применения, авторы провели опыты по изучению характера развития деформаций гранул керамзита при осевом сжатии и выяснению взаимосвязи диаграммы деформирования и плотности зерен керамзита.

На графиках (см. рисунок), построенных по усредненным данным испытания 10-12 образцов-призм, показан характер изменения модуля деформаций керамзитовых зерен при осевом сжатии с ростом уровня напряжений. Из графиков видно, что с ростом уровня σ/R до значения 0,6...0,7, а иногда и более, модуль деформации керамзита возрастает. Подобный характер кривой $\sigma = f(\epsilon)$ мы наблюдали и на образцах из реаль-

ных гранул никольского керамзита, обладавшего бездефектной обжиговой коркой толщиной 0,12...0,17 мм. С увеличением толщины обжиговой корки характер кривой $\sigma = f(\epsilon)$ меняется. Так, для гранул пензенского керамзита, обладавших обжиговой коркой толщиной 0,8...2 мм, она характеризовалась выпуклостью уже в другую сторону, т.е. в сторону оси напряжений.



Характер изменения модуля деформаций гранул керамзита с ростом уровня напряжения:
 1 – $\gamma_k = 0,4...0,5$ г/см³; 2 – $\gamma_k = 0,55...0,7$ г/см³; 3 – $\gamma_k = 0,71...0,8$ г/см³; 4 – $\gamma_k = 0,81...0,9$ г/см³;
 5 – $\gamma_k = 0,91...1,0$ г/см³

Таким образом, можно утверждать, что вид диаграммы сжатия керамзитовых зерен в линейном напряженном состоянии зависит от их макроструктуры, т.е. объемного соотношения плотной обжиговой оболочки и пористого ядра гранулы. Различный характер диаграмм сжатия зерен керамзита Никольского и Пензенского керамзитовых заводов находит четкое отражение в диаграммах сжатия конструктивных керамзитобетонов на их основе [4]. Здесь уместно отметить, что при пятиминутной выдержке на этапах нагружения зерна керамзита проявляли очень незначительные пластические деформации, а при циклических испытаниях керамзита с разгрузкой после загрузки до уровня 0,6...0,85R получены коэффициенты упругости, практически равные 1. Столь высокая упругость является специфическим свойством керамзита и характеризует микроструктуру его скелета как структуру достаточно высокой степени совершенства.

В этой связи необходимо заметить, что повышение модуля деформаций зерен керамзита с ростом уровня напряжений при осевом сжатии не является лишь следствием уплотнения зерна керамзита в результате его значительной сжимаемости. С учетом высокой упругости керамзита это явление имеет более сложную природу.

Рассматривая опытные данные по предельной сжимаемости керамзита, полученные как на образцах правильной геометрической формы, так и на реальных гранулах, следует отметить, что между предельной сжимаемостью и плотностью керамзита линейная взаимосвязь не усматривается. Замеренная нами предельная сжимаемость при уровне $\sigma/R = 0,9...0,95$ составляла 0,66...2,39 мм/м, что согласуется с данными других исследователей. Предельная поперечная деформация расширения образцов-призм находилась в пределах от 0,2 до 0,53 мм/м. Коэффициент Пуассона керамзита исследуемых объемных масс составлял 0,17...0,29. С увеличением плотности керамзита наблюдается тенденция роста величины названного коэффициента. Применение образцов-призм позволило нам вычислить дифференциальный коэффициент поперечной деформации Δv керамзитового заполнителя и изучить тем самым процесс микроразрушений его структуры на всем диапазоне нагружения.

Оценивая результаты исследований в целом, можно сделать вывод о том, что научно обоснованный подход к проектированию состава конструктивного керамзитобетона с необходимыми механическими свойствами требует учитывать диаграмму сжатия керамзитового гравия как обобщающую характеристику его механических

свойств, которая может иметь различный характер для керамзитового гравия разных заводов.

Список литературы

1. Петров, В.П. Пористые заполнители из отходов промышленности: монография / В.П. Петров. – Самара: СамГАСУ, 2005. – 152 с.
2. Виноградов, Б.Н. Петрография искусственных пористых заполнителей: моногр. / Б.Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1972. – 135 с.
3. Иванов, И.А. Оценка остаточных напряжений в гранулах керамзита / И.А. Иванов, Н.И. Макридин // Строительные материалы. – 1969. – №7. – С. 34–35.
4. Макридин, Н.И. Механическое поведение конструкционного керамзитобетона при осевом сжатии / Н.И. Макридин, И.Н. Максимова // Строительные материалы. – 2009. – №1. – С. 51–53.

References

1. Petrov, V.P. Porous fillers from industry wastes: monograph / V.P. Petrov. – Samara: SACU. 2005. – 152 p.
2. Vinogradov, B.N. Petrography of the artificial porous fillers: monograph / B.N. Vinogradov. – M.: Stroyizdat. 1972. – 135 p.
3. Ivanov, I.A. Estimation of residual stresses in the granules of keramzit / I.A. Ivanov, N.I. Makridin // Building materials. – 1969. – №7. – P. 34–35.
4. Makridin, N.I. Mechanical behaviour of structural keramzit concrete with axial compression / N.I. Makridin, I.N. Maksimova // Building materials. – 2009. – №1. – P. 51–53.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Логанина Валентина Ивановна,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Стандартизация,
сертификация и аудит качества»
E-mail: loganin@mai.ru

Кислицына Светлана Николаевна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»

Черячукин Владимир Викторович,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Соппротивление материалов»

Акжигитова Эльвира Ринатовна,
аспирант кафедры «Стандартизация,
сертификация и аудит качества»
E-mail: marat999192@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Loganina Valentina Ivanovna,
Doctor of Science, Professor, Head of the
department «Standardization, certification and
quality audit»
E-mail: loganin@mai.ru

Kislitsyna Svetlana Nikolaevna,
Candidate of Science, Professor of the
department «Technologies of building
materials and wood processing»

Cheryachukin Vladimir Viktorovich,
Candidate of Science, Professor of the
department «Standardization, certification and
quality audit»

Akzhigitova Elvira Rinatovna,
Postgraduate of «Standards, certification and
audit quality»
E-mail: marat999192@mail.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ В СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЯХ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ СМЕШАНОСЛОЙНЫХ ГЛИН

В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, В.В. Черячукин, Э.Р. Акжигитова

Рассмотрена возможность применения смешанослойных глин Пензенского региона в качестве структурирующей добавки в известковых сухих строительных смесях. Приведены условия сползания отделочного слоя при нанесении с вертикальной поверхности. Показана эффективность применения органоглин. Установлено, что введение органоглины в количестве 1,0 % от массы извести способствует снижению сползания отделочного слоя.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, сползание, отделочный слой.

EFFECTIVE USE OF ORGANIC-MINERAL ADDITIVES ON MIXED-CLAY IN DRY CONSTRUCTION MIXTURES

V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, V.V. Cheryachukin, E.R. Akzhigitova

The possibility of using mixed-clay of the Penza region as a structuring additive in dry lime mixtures is discussed. The conditions of finishing layer sliding down from vertical surface are given. The use of organoclay is very effective. It is proved that the introduction of 1.0 % organoclay reduces the finishing layer slipping down.

Keywords: dry building mixture, creep, finishing layer sliding down.

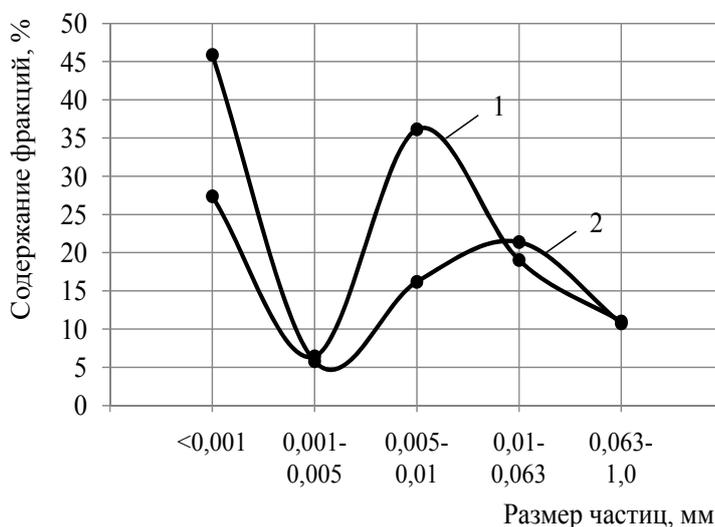
В связи с интенсивным развитием производства и расширением ассортимента сухих строительных смесей (ССС) актуальным является использование в рецептуре местных сырьевых материалов. В ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» разработана рецептура (отделочных составов) сухих строительных смесей с применением в качестве органоминеральной добавки

глин Пензенского региона [1–4]. Анализ отечественной и зарубежной литературы свидетельствует о широком применении органоминеральных добавок в полимерных композитах, материалах на основе минеральных вяжущих [5].

Разработаны ССС, предназначенные для выполнения отделочных работ при нанесении их на бетонные и штукатурные поверхности. Рецептура ССС содержит известь-пушонку, кварцевый песок в соотношении известь : песок = 1 : 4, модифицирующие добавки.

Органоминеральная добавка получена адсорбцией органического вещества (ОП-7, ОП-10) на смешанослойной глине с повышенным содержанием монтмориллонита [1]. В работе применяли глину Воробьевского и Камешкирского месторождений. Установлено, что величина адсорбции органической добавки ОП-10 на Камешкирской глине удельной поверхности 12000 см²/г составляет 0,045 г/г, на Воробьевской глине удельной поверхности 6854 см²/г – 0,0359 г/г.

Органоминеральную добавку предлагается использовать в ССС в качестве структурирующей и диспергирующей добавки. На рисунке приведен гранулометрический состав Камешкирской глины (контрольный образец) и глины, модифицированной добавкой ОП-10.



Гранулометрический состав Камешкирской глины:

1 – немодифицированная глина; 2 – глина, модифицированная органической добавкой ОП-10

Установлено, что модифицированная глина (органоглина) хорошо диспергируется в воде: увеличивается содержание мелких фракций и уменьшается содержание крупных фракций. Так, содержание частиц размером менее 0,001мм в органоглине составляет 45,88 %, фракций 0,01–0,005 мм – 16,18 %, а в контрольном составе соответственно 27,38 и 36,14 %.

В соответствии с требованиями EN 1308 составы на основе ССС должны обладать стойкостью к сползанию при нанесении их на вертикальные поверхности [6]. В связи с этим в работе оценивалась устойчивость разработанных составов к сползанию.

Суть расчета заключается в следующем. Отделочный слой толщиной δ и высотой h жестко скреплен с материалом стены (подложкой). Слой нагружен объемными силами ρ [7]. На границе слоя возникают касательные напряжения τ , которые удерживают в равновесии рассматриваемый слой. Для оценки условия нахождения слоя покрытия в равновесии (отсутствии «сползания») можно воспользоваться неравенством:

$$|\tau_{\max}| = 4\gamma\delta < \tau_{\text{сд}}, \tag{1}$$

где γ – средняя плотность материала отделочного слоя.

Значения $\tau_{\text{сд}}$ суммируются из предельного напряжения сдвига τ_0 – реологической характеристики и адгезионной прочности покрытия и подложки $\tau_{\text{ад}}$:

$$\tau_{\text{сд}} = \tau_0 + \tau_{\text{ад}} \quad (2)$$

Учитывая, что в начальный момент нанесения отделочного слоя величина $\tau_{\text{ад}}$ очень мала, выражение (2) может быть записано в виде:

$$\tau_{\text{max}} < k\tau_0, \quad (3)$$

где k – коэффициент, учитывающий вклад адгезионной прочности в условие (2).

Выражение (3) может быть использовано для определения оптимальной толщины покрытия, исключающей его сползание с вертикальной поверхности.

Для оценки влияния органоминеральной добавки на сползание отделочного раствора были проведены следующие испытания. На стеклянную пластину и поверхность из цементно-песчаного раствора, расположенные горизонтально, были нанесены составы ССС толщиной 1,2 см, после чего пластины поднимали в вертикальное положение. Определяли угол наклона пластины, при котором наблюдалось сползание отделочного раствора. Значения предельного напряжения сдвига определяли с помощью конического пластометра КП-4. Для сравнения приготавливались составы с применением добавки «Органобентонит». Результаты расчетов и исследований приведены в табл.1.

Установлено, что введение добавок органобентонита и органоминеральных добавок на основе смешанослойных глин приводит к снижению пластической прочности отделочного состава и повышению значений касательных напряжений τ_{max} (см. табл.1). Значение пластической прочности τ_0 и максимальных касательных напряжений τ_{max} контрольного состава составляет $\tau_0 = 0,085$ МПа и $\tau_{\text{max}} = 0,047$ МПа, а при введении органобентонита в количестве 1 % – соответственно – $\tau_0 = 0,055$ МПа и $\tau_{\text{max}} = 0,050$ МПа. Аналогичные закономерности наблюдаются и при введении органоминеральной добавки на основе Камешкирской глины.

Т а б л и ц а 1

Влияние органоминеральных добавок на устойчивость к сползанию известковых составов на стеклянной подложке

Состав	Вид и содержание добавки	Пластическая прочность τ_0 , МПа	Касательные напряжения, МПа
Известь: песок=1:4, В/И=1,4	-	0,085	0,047
То же	Органобентонит (1 %)	0,055	0,050
То же	Органоминеральная добавка на основе Камешкирской глины с ОП-10 (1 %)	0,060	0,050
То же	Органоминеральная добавка на основе Камешкирской глины с ОП-10 (3 %)	0,050	0,051
То же	Органоминеральная добавка на основе Камешкирской глины с ОП-10 (5 %)	0,053	0,041
То же	Органоминеральная добавка на основе Камешкирской глины с ОП-10 (10 %)	0,060	0,042

На растворной подложке сползание отделочного слоя не наблюдалось. Были рассчитаны значения касательных напряжений в отделочном слое при различной толщине его нанесения на вертикальную поверхность.

Т а б л и ц а 2

Максимальные значения касательных напряжений в отделочном слое

Максимальные значения касательных напряжений при толщине слоя, τ_{\max} , МПа		
1 см	1,5 см	2 см
0,085	0,127	0,169

Установлено, что максимальные значения касательных напряжений при толщине отделочного слоя 1–2 см составляют $\tau_{\max} = 0,085 \dots 0,169$ МПа, что значительно выше пластической прочности. Однако сползание отделочного раствора не происходит, что, очевидно, обусловлено вкладом адгезионной прочности $\tau_{\text{ад}}$. Значение коэффициента k , учитывающего вклад адгезионной прочности в условие (3), по нашим данным, составляет в зависимости от рецептуры состава 1,17–2,3, т.е. значение предельного напряжения сдвига $\tau_{\text{сд}}$ намного больше значений касательных напряжений τ_{\max} .

Таким образом, применение органоминеральной добавки, полученной на основе смешанослойных глин с повышенным содержанием монтмориллонита, способствует повышению технологических свойств отделочных составов, в том числе устойчивости к сползанию.

Список литературы

1. Логанина, В.И. Разработка органоминеральной добавки для сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Н.А. Петухова, Э.Р. Акжигитова // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. – 2011. – № 3. – С. 8–12.
2. Логанина, В.И. Органоминеральная добавка для полистирольных красок / В.И. Логанина, Н.А. Петухова // Строительные материалы. – 2008. – № 2. – С. 44–45.
3. Логанина, В.И. Модификация рецептуры полистирольного красочного состава дисперсными частицами органоглины / В.И. Логанина, Н.А. Петухова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2008. – № 8. – С. 25–27.
4. Логанина, В.И. Полистирольные краски, содержащие органоминеральные добавки / В.И. Логанина, Н.А. Петухова // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2008. – № 4. – С. 25–29.
5. Микитаев, А.К. Нанокompозитные полимерные материалы на основе органоглин / А.К. Микитаев // Пластические массы. – 2004. – №12. – С. 45–50.
6. EN 1308:2007. Клеи для плиток керамических. Определение сопротивления скольжению / CEN/TC 67 Керамическая плитка. – 2007. – 8 с.
7. Козлов, В.В. Сухие строительные смеси / В.В. Козлов. – М.: Изд-во «АСВ», 2000. – 96 с.

References

1. Loganina, V.I. Development of organomineral additives for dry mortar / V.I. Loganina, N.A. Petukhova, E.R. Akzhigitova // Belgorod State Technological University named after VG Shukhov. – 2011. – № 3. – P. 8–12.
2. Loganina, V.I. Organic additive for polystyrene paints / V.I. Loganina, N.A. Petukhova // Construction materials. – 2008. – № 2. – P. 44–45.
3. Loganina, V.I. Modification of the composition of the ink formulation of polystyrene particles dispersed organoclay / V.I. Loganina, N.A. Petukhova // News of higher educational institutions. Construction. – 2008. – № 8. – P. 25–27.
4. Loganina, V.I. Polystyrene paints containing organic-additive / V.I. Loganina, N.A. Petukhova // Coating materials and their application. – 2008. – № 4. – P. 25–29.
5. Mikitaev, A.K. Nanocomposite polymer materials based on organoclay / A.K. Mikitaev // Plastics. – 2004. – № 12. – P. 45–50.
6. EN 1308:2007. Adhesives for ceramic tiles. Determination of slip resistance / CEN / TC 67 tiles.: 2007. – 8 p.
7. Kozlov, V.V. Dry mix / V.V. Kozlov. – M.: Publishing House of the DIA, 2000. –96 p.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 624.042

Саратовский государственный технический университет *Saratov State Technical University*

Россия, 410054, г. Саратов,
ул. Политехническая, 77,
тел: 8-(8452)-99-89-05

Овчинников Игорь Георгиевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Транспортное строительство»

Овчинников Илья Игоревич,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Мосты и транспортные сооружения»
E-mail: BridgeArt@mail.ru

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Скачков Юрий Петрович,
доктор технических наук, профессор,
советник РААСН, ректор, профессор
кафедры «Строительные конструкции»

*Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет*

Россия, 614013, г. Пермь,
ул. академика Королева, 19а,
тел./факс: +7 (342) 2-391-492

Юшков Борис Семенович,
кандидат технических наук, доцент, зав.
кафедрой «Автомобильные дороги и мосты»
E-mail: dkadf@pstu.ac.ru

Russia, 410054, Saratov,
77, Polytechnique St.,
tel: 8-(8452)-99-89-05

Ovchinnikov Igor Georgievich
Doctor of Science, Professor of the
department «Transport construction»

Ovchinnikov Iliya Igorevich,
Candidate of Science, Associate Professor of the
department «Building and transport constructions»
E-mail: BridgeArt@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Skachkov Yuri Petrovich,
Doctor of Science, Professor, Adviser of the
Russian Academy of Architectural and
Building Science, Rector, Professor of the
department «Building designs»
Perm national research Polytechnic University

Russia, 614013, Perm, 19a,
academician Koroleva St.,
tel./fax: +7 (342) 2-391-492

Yushkov Boris Semenovich
Candidate of Science, Associate Professor,
Head of the department «Roads and bridges»,
E-mail: dkadf@pstu.ac.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ РАСЧЕТЕ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

И.Г. Овчинников, Ю.П. Скачков, И.И. Овчинников, Б.С. Юшков

Приводится сравнительный анализ различных моделей грунтовых оснований, используемых при моделировании поведения жестких дорожных одежд на основаниях. Для сравнения используется прием, основанный на анализе модели с точки зрения простоты её использования и адекватности описания ею реального поведения грунтового основания.

Ключевые слова: модель грунтового основания, моделирование транспортных сооружений, анализ моделей.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SOIL FOUNDATION MODELS USED IN THE CALCULATION OF TRANSPORT CONSTRUCTIONS

I.G. Ovchinnikov, Y.P. Skachkov, I.I. Ovchinnikov, B.S. Yushkov

A comparative analysis of different soil foundation models used in modeling rigid pavement behavior on the grounds is considered. For comparison they use a method, based on the model analysis from the point of how easy it is to use it and how adequately it describes the real behavior of the ground foundation.

Keywords: models of the soil foundation, simulation of transport constructions, models analysis.

Плиты жестких дорожных одежд приходится рассчитывать, схематизируя природные механические процессы, протекающие в грунтах, заменяя основание расчетной механической, а затем математической моделью. Область применения той или иной модели включает в себя несколько аспектов, а именно:

- 1) конструкции, для расчета которых используется модель;
- 2) виды грунтов;
- 3) работы, в которых для расчетов используется та или иная модель.

Ошибки из-за применения моделей, не соответствующих действительным свойствам грунтового основания, особенно сильно сказываются на количестве арматуры в железобетонных плитах покрытия. Поэтому вопросу рационального выбора расчетной модели и соответствующего ей метода расчета следует уделять серьезное внимание.

Рассмотрим наиболее распространенные модели грунтовых оснований.

Первая модель грунтового основания была предложена в 1801 году в России Н.И. Фуссом для расчета глубины колеи, возникающих после проезда экипажей по грунтовым дорогам [6]. Механические свойства материала в модели характеризуются коэффициентом остаточной осадки C_0 , который автор модели связывал с углом естественного откоса грунта.

Одной из первых и наиболее распространенных моделей грунта является модель Винклера [7, 8, 9]. Сохранив основные свойства модели Фусса, модель Винклера характеризует грунт как упругую макросистему без остаточных деформаций после снятия нагрузки. Эту модель также называют линейной моделью местных деформаций [10].

А.С. Григорьев [11] дополнил свойства модели Винклера способностью развития остаточных деформаций за счет пластического течения материала при увеличении предельного давления сверх предела текучести, введя тем самым второй механический параметр.

В инженерной практике часто встречаются случаи, когда плита лежит на основании с анизотропными свойствами. Таким основанием может быть грунт с наклонным расположением пластов или сланцеватый скальный грунт, а также искусственное основание с различным наклоном и расположением свай [12]. Модель Винклера является эффективной для грунтов, особенно связных, в переувлажненном состоянии, а также предпочтительна при проектировании аэродромных покрытий, особенно в водонасыщенных песках и супесях [10].

Более сложной моделью упругого основания является модель упругого полупространства, особенностью которой является наличие распределяющего эффекта, выражающегося в упругих осадках поверхности грунта за пределами штампа [9]. Механическим аналогом его является система пружин, скрепленных сверху шарнирами [8]. Эта модель часто используется при расчетах прогибов и напряжений дорожных и аэродромных одежд, особенно при расчетах на кратковременные нагрузки. Первые экспериментальные исследования в этом направлении были сделаны в России П.А. Миняевым [9]. В числе применявших эту модель к расчету осадок сооружений и дорожных одежд следует назвать Н.Н. Иванова [13], Г.Э. Проктора, Н.П. Пузыревского [9]. Материал модели сплошной, и развитие деформаций местного характера в нем невозможно. Деформации вполне упругие, линейно связаны с напряжениями и полностью исчезают после снятия нагрузки. Продольные деформации сопровождаются поперечными, определяющимися коэффициентом Пуассона.

Для модели линейно деформируемого полупространства характерны способность грунта образовывать остаточные деформации под штампом и упругая осадка вокруг штампа при нагружении, а после снятия нагрузки – остаточная деформация за пределами штампа [4, 9]. Связь между нагрузкой и деформацией в линейно деформируемом полупространстве линейна. Существенный недостаток модели упругого полупространства заключается в полном игнорировании остаточных деформаций, в то время как большинству естественных грунтов свойственно одновременное развитие как восстанавливающихся, так и остаточных деформаций. С целью преодоления этого противоречия Н.Н. Иванов [13] предложил обобщенный параметр – коэффициент оседания, учитывающий и упругие, и остаточные деформации грунта, а Н.М. Герсеванов [14] вместо модуля упругости и коэффициента Пуассона при расчетах грунтовых оснований методами теории упругости использовал другие параметры, также отражающие и упругие, и остаточные деформации, а именно модуль полной деформации E_n и коэффициент Пуассона для полной деформации m_n . Эта замена была обоснована тем, что при небольших изменениях напряжений в грунте, возникающих при возведении сооружений, полные деформации, являющиеся не вполне упругими, связаны с напряжениями линейной зависимостью.

Наблюдения показали, что механические свойства грунтовых оснований при нагружении и снятии нагрузки различны. Поэтому были введены дополнительные параметры, характеризующие поведение линейно деформируемого полупространства при снятии нагрузки, – модуль упругости E_b и коэффициент Пуассона m_b . При нагружении модель ведет себя так же, как и упругое полупространство, но после снятия нагрузки штамп и окружающая поверхность грунта модели образуют своеобразную остаточную воронку вдавливания с пологими криволинейными бортами, уходящими в бесконечность. Применение модели линейно деформируемого полупространства к расчетам дорожных и аэродромных покрытий сопровождалось резкой критикой моделей Фусса и Винклера, причем сторонники новой модели ссылались на экспериментальные факты, противоречащие свойствам моделей, учитывающих только местные свойства основания. Вначале Фепплем и Бастианом [15] был установлен факт распространения упругих деформаций в стороны от штампа, а затем в ряде опытов была обнаружена прямая пропорциональность между осадкой штампа и его линейными размерами. Последующие опыты не подтвердили универсальной применимости модели линейно деформируемого полупространства, и Феппл сам отметил, что его опыты хотя и действительно обнаружили наличие распространяющихся в стороны восстанавливающихся деформаций в грунтах, но были недостаточными для обоснования универсальной применимости решений теории упругости к расчету природных грунтовых оснований.

Привлекает внимание к себе модель грунтового основания в виде сжимаемого слоя конечной мощности [7, 9]. Свойства сжимаемого слоя конечной мощности были подробно исследованы М.И. Горбуновым-Посадовым [16], Л.Н. Федуловой-Локкенберг [17] и О.Я. Шехтер [9], разработавшей таблицы для расчета лежащих на сжимаемом слое грунта конечной мощности плит, которые использовались при проектировании жестких дорожных покрытий. Сжимаемый слой может быть упругим или линейно деформируемым. Его механические свойства в первом случае характеризуются двумя параметрами: E_b и m_b , а во втором – четырьмя: E_n , E_b , m_n , m_b . При нагружении штампом модель слоя грунта конечной мощности ведет себя как упругое полупространство в случае упругого слоя и как линейно деформируемое полупространство – в случае линейно деформируемого слоя. Однако степень распространения деформаций зависит от отношения толщины слоя к диаметру штампа. При бесконечно большой толщине слоя модель превращается в однородное упругое полупространство, при малых толщинах приобретает свойства модели Винклера, и ее деформации становятся местными.

Модель П.Л. Пастернака, характеризующаяся двумя коэффициентами постели: коэффициентом сжатия и коэффициентом сдвига [9], – принимается в качестве расчетной при проектировании жестких дорожных одежд с монолитными и сборными покрытиями.

Оригинальна модель А.П. Сеницына [10, 18], в которой верхний слой имеет остаточные деформации, как в модели Фусса, а нижний представляет собой упругое полупространство. Большинство ранее описанных моделей не допускает одновременного развития местных и общих деформаций. Между тем такие явления наблюдаются при сжатии двух соприкасающихся тел и при осадке сооружений. А.П. Сеницын, объясняя увеличение осадок сооружений относительно смежных точек поверхности грунта пластическими деформациями сдвига в поверхностном, наиболее напряженном слое грунта, предложил модель, которую можно представить в виде остаточно-деформируемого слоя конечной мощности, лежащего на поверхности упругого полупространства. Верхний слой обладает способностью к местным деформациям и не может развивать деформаций общего характера. Его толщина определяется глубиной зоны пластических деформаций, возникающих под фундаментом. Штмп, установленный на поверхности модели А.П. Сеницына, при нагружении даёт осадку, слагающуюся из местной осадки вследствие обжатия верхнего слоя и общей осадки, вызываемой упругими деформациями модели в целом. Модель характеризуется коэффициентом местной осадки, модулем упругости E_v и коэффициентом Пуассона m_v .

И.Я. Штаерман обратил внимание на то, что любая поверхность всегда обладает известными неровностями и абсолютно плотное прилегание практически неосуществимо [19]. В связи с этим при сжатии соприкасающихся тел происходят два процесса: местные деформации неровностей в контакте и общие деформации обоих тел в целом. И те, и другие деформации автор модели считает упругими и подчиняющимися закону Гука. Модель И.Я. Штаермана аналогична модели А.П. Сеницына, уравнения полной осадки и осадки точек поверхности определяются так же, как и в модели А.П. Сеницына. Модель пригодна для решения контактных задач теории упругости с учетом деформаций местных неровностей поверхностей соприкасающихся тел.

М.М. Филоненко-Бородич указал на возможность построения таких моделей упругого основания [20], которые давали бы теорию, более совершенную, чем теория прямой пропорциональности, и вместе с тем не связанную с математическими трудностями, которые возникают при использовании теории упругого полупространства. Его модель представляет собой модель в виде винклеровской, перекрытой гибкой мембраной. В зависимости от механических свойств мембраны и основания деформации поверхности могут иметь различный вид.

Поскольку свойства естественного грунтового основания не отражаются целиком ни одной из существующих моделей, И.И. Черкасов и Г.К. Клейн предложили более совершенную модель, обладающую следующими свойствами [9]:

а) модель принимается в виде полупространства или сжимаемого слоя конечной мощности, её материал обладает способностью к одновременному развитию упругих деформаций общего характера и остаточных деформаций местного характера;

б) в части упругих деформаций модель подчиняется законам теории упругости для однородного или неоднородного полупространства или для сжимаемого слоя конечной мощности при соблюдении линейной зависимости между напряжениями и деформациями. Остаточные деформации принимаются пропорциональными ширине штампа и, в общем случае, нелинейно связаны с напряжениями;

в) материал модели наделяется способностью к упрочнению, в результате которого, в частных случаях, может иметь место появление участков вполне упругих деформаций или участков, в пределах которых связь остаточных деформаций с напряжениями может быть принята линейной;

г) механические свойства материала модели в неупрочненном состоянии характеризуются тремя параметрами, которые получаются путем обработки опытных данных о связи остаточных и восстанавливающихся осадок со средним удельным давлением штампа.

Подобными свойствами обладает модель В.З. Власова [21], преимущество которой заключается в применении удобного математического аппарата, позволяющего решать задачи расчета балок и плит на упругом основании проще, чем при использовании упругого полупространства. Эта модель получена с помощью некоторых допущений о распределении деформаций в слое грунта исходя из общих уравнений теории

упругости. В плоской обобщённой модели упругого основания с помощью системы обыкновенных дифференциальных уравнений можно определить напряженно-деформированное состояние упругого основания, принимаемого за линейно деформируемую среду конечной толщины H в условиях плоской деформации. Можно считать, что дифференциальными уравнениями характеризуется плоская обобщённая модель упругого основания, построенная на базе общего вариационного метода, с помощью которого можно получать, выбирая для ограниченного числа определенных функций различные выражения, ряд моделей упругих оснований, приближенных с точки зрения теории упругости, но достаточно точных с точки зрения практических приложений. Большинство из тех расчетных моделей упругих оснований, которые могут быть получены на базе общего вариационного метода, оказываются более простыми. В работе [21] В.З. Власовым и Н.Н. Леонтьевым было предложено в качестве примеров несколько моделей, полученных на основе этого метода.

Попытка классифицировать грунтовые основания по ряду признаков была предпринята М.А. Железниковым [8], который подразделяет грунтовые основания на три класса:

1) модели, ассоциирующиеся с системой не связанных между собой пружин (Фусс, Винклер, Уэстергард);

2) «интегральные» модели, ассоциирующиеся с системой связанных между собой пружин (упругое полупространство, сжимаемый слой конечной мощности, двухслойное упругое основание);

3) «дифференциальные» – по виду дифференциального оператора, устанавливающего связь между прогибом и реактивным давлением (М.М. Филоненко-Бородич, П.Л. Пастернак, В.З. Власов).

Отметим некоторые другие подходы к этой проблеме, предложенные различными авторами. Так, например, Вигхардтом [7, 16] выдвинута гипотеза, по которой связь между давлением и осадкой выражается через убывающую экспоненциальную функцию, однако до конца им был доведен лишь пример расчета балки под равномерную нагрузку. Все предложения Вигхардта, М.М. Филоненко-Бородича, В.З. Власова и П.Л. Пастернака для балок дают одно и то же дифференциальное уравнение, несмотря на различие в исходных идеях и гипотезах. Кроме того, все эти модели обладают одним и тем же недостатком: у концов балок и по краям плит вне зависимости от их жесткости при расчете выявляются реакции в виде сосредоточенных сил. Поперечные силы у краёв или на концах конструкций отличны от нуля даже тогда, когда эти края свободны и не несут никакой нагрузки. И, главное, грунт не может принимать воздействие в виде сосредоточенных сил. Здесь концентрация нагрузки на грунт оказывается ещё более высокого порядка, чем это получается в теории упругости, где под краями конструкций давление на грунт бесконечно велико, тогда как именно бесконечно большие значения реактивного давления под краями конструкций являются предметом критики гипотезы упругого полупространства, так как они вызывают повышенное значение изгибающих моментов и при реальном грунте возникать не могут: грунт при таких давлениях переходит в пластическое состояние, и давление падает.

М. Хетенли [7] предложил упрощённую разновидность модели М.М. Филоненко-Бородича, где внутри пружин винклеровского основания заложена балка или плита какой-нибудь заданной жесткости. Комбинацию упругого полупространства и винклеровской модели предложил Л.Н. Репников [22]. Здесь упругие пружины работают внутри упругого полупространства, причем осадки пружин и полупространства равны между собой. Таким образом, в этой модели упругое полупространство как бы армировано пружинами, но пружины внутри него работают без трения о полупространство. В.А. Барвашов и В.Г. Федоровский [23] предложили трехпараметрическую модель, в которой модель с двумя коэффициентами постели C_1 и C_2 Филоненко-Бородича накрывается слоем винклеровских пружин с жесткостью C_3 . Авторы назвали эту модель ССС. К расчету с использованием коэффициента жесткости примыкает способ М. Кани [7], в котором напряжение в основном определяется с учетом модели однородного упругого полупространства, но деформации в каждой точке поверхности рассматриваются как сумма обжатий отдельных слоёв в столбике грунта под этой

точкой от соответствующих напряжений. Получило распространение и предложение К.Е. Егорова [24], заключающееся в том, что в расчет вводится не упругое полупространство, а сжимаемый слой, ниже которого основание принимается несжимаемым.

С.С. Давыдов [25] вместо условия отсутствия касательных напряжений между слоем и несжимаемым основанием ввел условие отсутствия горизонтальных перемещений вдоль нижней границы слоя. Используя метод Б.Н. Жемочкина, С.С. Давыдов разработал алгоритм для расчета тех элементов подземных сооружений, которые работают как полосы на упругом полупространстве. В дальнейшем С.С. Давыдов так усовершенствовал свой метод расчета, что он позволил учитывать работу песчаной или щебеночной подготовки в предположении, что верхний слой грунта состоит из не связанных между собой столбиков.

Для большинства практических задач вполне приемлемы модели деформационного типа, отражающие при небольшом количестве параметров наиболее характерные деформационные свойства. В работе [26] рассмотрена модель среды с внутренним трением, являющаяся комбинацией билинейной деформационной модели и модели идеально пластического тела, в связи с чем в качестве её названия употреблен термин «модель билинейно деформируемой идеально пластической среды». Параметры представленной модели соответствуют общепринятым в проектной практике деформационным и прочностным характеристикам материалов.

Сопоставление некоторых из рассмотренных моделей с точки зрения их адекватности моделируемому эффекту и простоты их использования показано на рис. 1. На рис. 2 приведены схемы деформирования и графики вдавливания штампа для основных из представленных моделей.

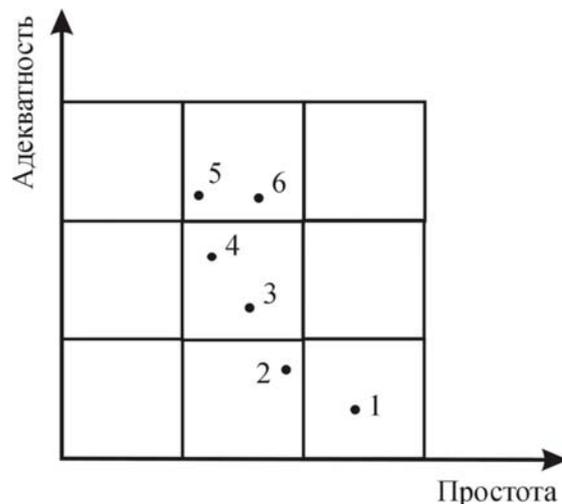


Рис. 1. Сопоставление рассмотренных моделей:

- 1 – модель Винклера; 2 – модель упругого полупространства; 3 – модель линейно деформируемого полупространства; 4 – сжимаемый слой конечной мощности; 5 – модель Черкасова – Клейна; 6 – модель Власова – Леонтьева

В ы в о д . Наиболее простой, но в то же время наименее корректно описывающей поведение грунтового основания является модель Винклера. Модели упругого полупространства и линейно деформируемого полупространства занимают промежуточное положение – они имеют приемлемую адекватность и поддаются решению. Модели Черкасова – Клейна и Власова – Леонтьева обладают сопоставимой адекватностью, однако модель Власова – Леонтьева, с нашей точки зрения, более удобна для реализации (отличается несколько большей простотой).

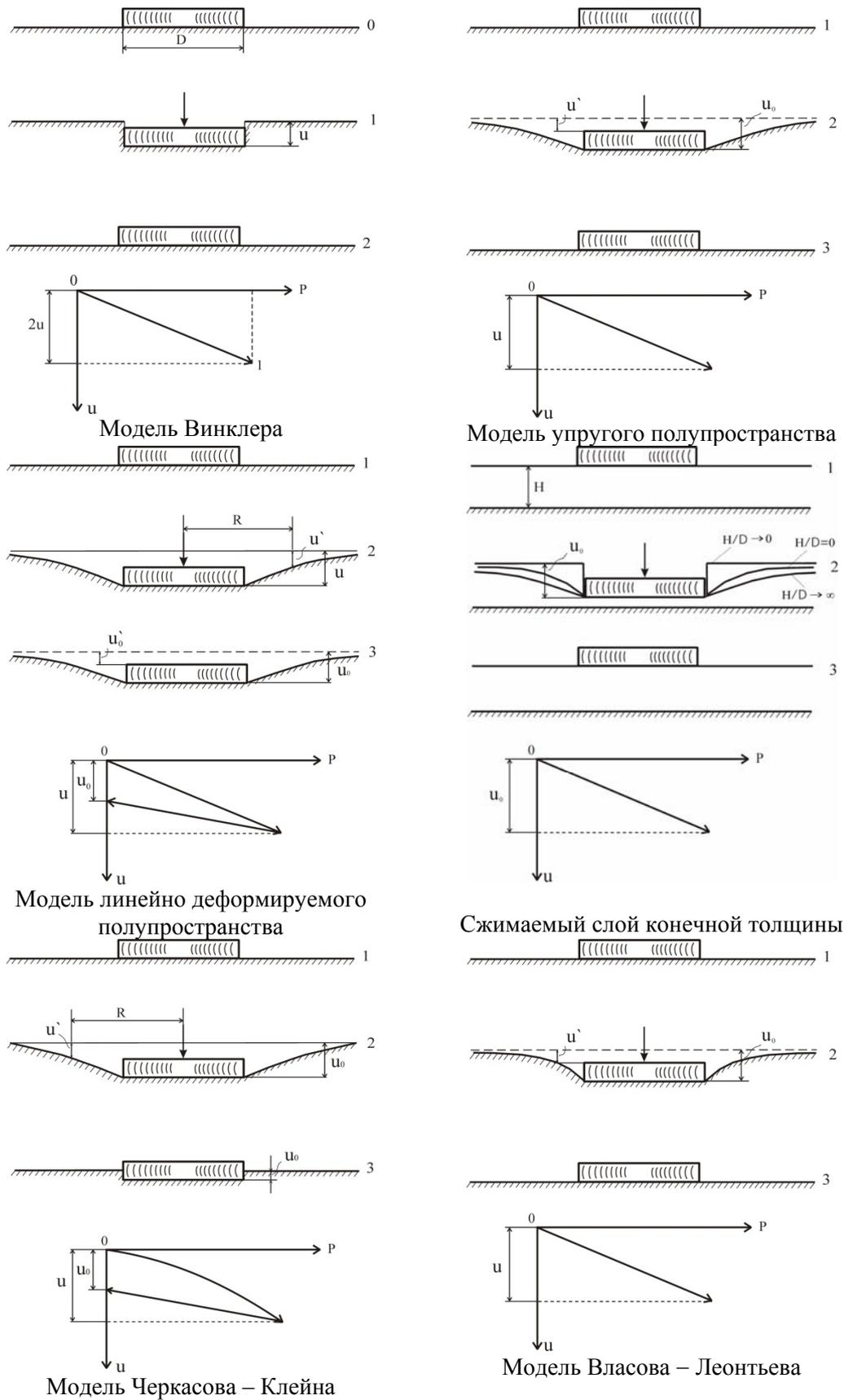


Рис. 2. Схемы деформирования и графики вдавливания штампа

Список литературы

1. Малышев, М.В. Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений / М.В. Малышев. – М.: Стройиздат, 1994. – 228 с.
2. Support under portland cement concrete pavements / Darter M.J., Hall K.T., Kuo Chen-Ming // NCHRP Rept/ Nat. Coop. Highway. Res program. – 1995. – №372. – С. 1-50.
3. Гук, Г.В. Полимерный бетон в автомобильном строительстве / Г.В. Гук. – Львов: Свит, 1990. – 93 с.
4. Жесткие покрытия аэродромов и автомобильных дорог: учеб. пособие для вузов / Г.И. Глушков [и др.]; под ред. Г.И. Глушкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1994. – 349 с.
5. Степушин, А.П. Обоснование параметров модели аэродромного покрытия из цементобетона / А.П. Степушин // Проектирование и строительство аэропортов: сб. тр. МАДИ. – М., 1978. – Вып. 153. – Р. 118–123.
6. Бабков, В.Ф. Основы грунтоведения и механики грунтов / В.Ф. Бабков, А.В. Гербурдт-Гейбович. – М.: Автотрансиздат, 1956. – 308 с.
7. Горбунов-Посадов, М.И. Расчет конструкций на упругом основании / М.И. Горбунов-Посадов, Т.А. Маликова, В.И. Соломин. – М.: Стройиздат, 1984. – 679 с.
8. Железников, М.А. Методы расчета конструкций дорожных одежд под колесные и гусеничные нагрузки: обзор. информ. / Информавтодор. – М., 1994. – 60 с. – (Автомобильные дороги; Вып.1).
9. Черкасов, И.И. Механические свойства грунтовых оснований / И.И. Черкасов. – М., 1958. – 156 с.
10. Смирнов, А.В. Прикладная механика дорожных и аэродромных конструкций: учебное пособие / А.В. Смирнов. – Омск, 1993. – 128 с.
11. Григорьев, А.С. Изгиб балок на упругопластическом основании / А.С. Григорьев // Тр. ЦАГИ. – М.: Изд-во ЦАГИ, 1946. – Вып. 600. – 30 с.
12. Кончковский, З. Плиты. Статические расчеты / З. Кончковский. – М.: Стройиздат, 1984. – 480 с.
13. Иванов, Н.Н. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд / Н.Н. Иванов. – М.: Транспорт, 1973. – 327 с.
14. Герсеванов, Н.М. Теоретические основы механики грунтов и их практические приложения / Н.М. Герсеванов, Д.Е. Польшин. – М.: Стройиздат, 1948. – 247 с.
15. Феппель, А. Теория сопротивления материалов и теория упругости / А. Феппель. – СПб., 1901. – 420 с.
16. Горбунов-Посадов, М.И. Расчет конструкций на упругом основании / М.И. Горбунов-Посадов. – М.: Гос. изд-во лит. по стр-ву и архитектуре, 1953. – 627 с.
17. Федулова-Локкенберг, Л.К. Определение осадок фундаментов на упругом основании, подстилаемом скалой / Л.К. Федулова-Локкенберг // Материалы к IV Международному конгрессу по механике грунтов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – С. 126-132.
18. Жемочкин, Б.Н. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании без гипотезы Винклера / Б.Н. Жемочкин, А.П. Сеницын. – 2-е изд. – М.: Госстройиздат, 1962. – 239 с.
19. Штаерман, И.Я. Контактная задача теории упругости / И.Я. Штаерман. – М.: Гостехиздат, 1949. – 207 с.
20. Филоненко-Бородич, М.М. Некоторые приближенные теории грунтового основания / М.М. Филоненко-Бородич // Ученые записки МГУ. – 1940. – Вып.46. – С. 1-18.
21. Власов, В.З. Балки, плиты и оболочки на упругом основании / В.З. Власов, Н.Н. Леонтьев. – М.: Физматгиз, 1960. – 491 с.
22. Репников, Л.Н. Расчет балок на упругом основании, объединяющем деформативные свойства основания Винклера и линейно деформируемой среды / Л.Н. Репников // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1967. – №6. – С. 15-28.
23. Барвашов, В.А. Трехпараметрическая модель грунтового основания и свайного поля, учитывающая необратимые структурные деформации грунта / В.А. Барвашов, В.Г. Федоровский // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1978. – №4. – С. 17-20.
24. Егоров, К.Е. О деформации основания конечной толщины / К.Е. Егоров // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1961. – №1. – С. 25-26.
25. Давыдов, С.С. Расчет и проектирование подземных сооружений / С.С. Давыдов. – М.: Стройиздат, 1950. – 376 с.
26. Копейкин, В.С. Взаимодействие изгибаемых конструкций с билинейно-деформируемой идеально пластической средой: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.С. Копейкин. – Саратов, 1997. – 34 с.

1. Malyshev, M.V. Soil strength and stability of the base constructions / M.V. Malyshev. – M.: Stroyizdat, 1994. – 228 p.
2. Support under portland cement concrete pavements / Darter M.J., Hall K.T., Kuo Chen-Ming // NCHRP Rept/ Nat. Coop. Highway. Res program. – 1995. – №372. – P. 1-50.
3. Hooke G.V. Polymer concrete in road construction / G.V. Hooke. – Lviv: Sweet, 1990. – 93 p.
4. Hard pavements of airfields and roads: textbook manual for schools / G.I. Glushkov [and others]; ed. Glushkov. – 2 ed., Rev. and enlarged. – M.: Transport, 1994. – 349 p.
5. Stepushin, A.P. Justification of the model parameters of cement concrete airfield pavement / A.P. Stepushin // Design and construction of airports: Proc. / MADI. – M., 1978. – Vol. 153. – P. 118–123.
6. Babkov, V.F. Fundamentals of soil science and soil mechanics / V.F. Babkov, A.V. Gerburdt-Geybovich. – M.: Avtotransizdat, 1956. – 308 p.
7. Gorbunov-Posadov, M.I. Calculation of structures on elastic foundation / M.I. Gorbunov-Posadov, T.A. Malikova, V.I. Solomin. – M.: Stroyizdat, 1984. – 679 p.
8. Zheleznikov, M.A. Methods for the analysis of the pavement structures under wheeled and tracked load: overview. Information / Informavtodor. – M., 1994. – 60 p. – (Roads, Issue 1).
9. Cherkasov, I.I. The mechanical properties of soil bases / I.I. Cherkasov. – M., 1958. – 156 p.
10. Smirnov, A.V. Applied Mechanics road and airport construction: the manual / A.V. Smirnov. – Omsk, 1993. – 128 p.
11. Grigoriev, A.S. Bending of beams on elastic – plastic base / A.S. Grigoriev // Proceedings of TsAGI. – M.: Publishing House of TsAGI, 1946. – Issue. 600. – 30 p.
12. Konchkovsky, Z. Plates. Static calculations / Z. Konchkovsky. – M.: Stroizdat, 1984. – 480 p.
13. Ivanov, N.N. Design and calculation of non-rigid pavements / N.N. Ivanov. – M.: Transport, 1973. – 327 p.
14. Gersevanov, N.M. Theoretical basis of soil mechanics and their practical application / N.M. Gersevanov, D.E. Polshin. – M.: Stroizdat 1948. – 247 p.
15. Feppel, A. Theory of strength of materials and theory of elasticity / A. Feppel. – St. Petersburg, 1901. – 420 p.
16. Gorbunov-Posadov, M.I. Calculation of structures on elastic foundation / M.I. Gorbunov-Posadov. – M.: Transl. Publishing House of Literature on Construction and Architecture, 1953. – 627 p.
17. Fedulova-Lokkenberg, L.K. Determination of residue on elastic foundation underlain rock / L.K. Fedulova-Lokkenberg // Proceedings of the IV International Congress of Soil Mechanics. – M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1957. – P. 126-132.
18. Zhemochkin, B.N. Practical methods for calculating the foundation beams and plates on elastic base without the hypothesis of Winkler / B.N. Zhemochkin, A.P. Sinitsyn. – Ed. 2nd. – M.: Gosstroizdat, 1962. – 239 p.
19. Shtaerman, I.J. Contact problem of the theory of elasticity / I.J. Shtaerman. – M., Gostehizdat, 1949. – 207 p.
20. Filonenko-Borodich, M.M. Some approximate theories of subgrade / M.M. Filonenko-Borodich // Proceedings of MGU. – 1940. – Vyp.46. – P. 1-18.
21. Vlasov, V.Z. Beams, plates and shells on elastic foundation / V.Z. Vlasov, N.N. Leontiev. – M.: Fizmatgiz, 1960. – 491 p.
22. Repnikov, L.N. Analysis of beams on elastic foundation, which unites the deformation properties of Winkler foundation and linearly deformable medium / L.N. Repnikov // Bases, foundations and soil mechanics. – 1967. – №6. – P. 15-28.
23. Barvashov, V.A. Three-parameter model of the subsoil and pile field, taking into account irreversible structural deformation of soil / V.A. Barvashov, V.G. Fedorovsky // Bases, foundations and soil mechanics. – 1978. – №4. – P. 17-20.
24. Egorov, K.E. Deformation of the base with finite thickness / K.E. Egorov // Bases, foundations and soil mechanics. – 1961. – №1. – P. 25-26.
25. Davydov, S.S. Calculation and design of underground structures / S.S. Davydov. – M.: Stroizdat, 1950. – 376 p.
26. Kopeikin, V.S. The interaction of flexible structures with bilinear deformable perfectly plastic medium: thesis of diss. Candidate. tech. Science / V.S. Kopeikin. – Saratov, 1997. – 34 p.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства
Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Данилов Александр Максимович,
доктор технических наук, профессор,
советник РААСН, зав. кафедрой
«Математика и математическое
моделирование»
E-mail: regas@pguas.ru

Гарькина Ирина Александровна,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Математика и математическое
моделирование».
E-mail: fmatem@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Danilov Alexander Maksimovich,
Doctor of Science, Professor, Adviser of the
Russian Academy of Architectural and
Building Science, Head of the department
«Mathematics and Mathematical Modeling»
E-mail: regas@pguas.ru

Garkina Irina Aleksandrovna,
Doctor of Science, Professor
of the department «Mathematics
and Mathematical Modeling»
E-mail: fmatem@pguas.ru

АСИМПТОТИЧЕСКИЕ ПОЛИНОМЫ В СМЫСЛЕ И.И.ЭТЕРМАНА ПРИ АНАЛИТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Рассматривается актуальная для приложений разработка методики аппроксимации
таблично-графически заданных функций. Приводится пример реализации.

Ключевые слова: асимптотические полиномы, аппроксимация функций многих пере-
менных.

ASYMPTOTIC POLYNOMIALS IN TERMS OF I.I.ETERMAN IN THE ANALYTICAL DESCRIPTION OF EXPERIMENTAL DATA

A.M. Danilov, I.A. Garkina

Development of table-graphically given functions approximation methods are discussed. The
example of its implementation is given.

Keywords: asymptotic polynomials, approximation of functions of several variables.

Рассмотрим функцию $F(u, v)$, заданную таблично-графически на прямоугольнике
 $\{a \leq u \leq b, c \leq v \leq d\}$ (конечным набором графиков, выражающих зависимость
функции $F(u, v)$ от первой переменной u при каждом из заданных значений второй
переменной v).

Займемся ее аппроксимацией полиномом

$$R(u, v) = A_{00} + A_{10}u + A_{01}v + A_{20}u^2 + A_{11}uv + A_{02}v^2 + A_{21}u^2v + A_{12}uv^2 + A_{22}u^2v^2.$$

Для этого воспользуемся асимптотическими полиномами, которые применялись в
[1] для аппроксимации функции $\varphi(z)$ на отрезке $-1 \leq z \leq 1$:

$$Q_n(z) = b_0 T_0(z) + \sum_{r=1}^n b_r T_r(z),$$

где

$$b_0 = \frac{1}{n+1} \sum_{j=0}^{n+1} \varphi(\eta_j^{(n)}),$$

$$b_r = \frac{2}{n+1} \sum_{j=0}^{n+1} \varphi(\eta_j^{(n)}) T_r(\eta_j^{(n)}) \quad (r = \overline{1, n});$$

символ \sum' означает: $\sum_{j=0}^{n+1} a_j = \frac{a_0}{2} + \sum_{j=1}^n a_j + \frac{a_{n+1}}{2}$;

$T_r(z) = \cos r \arccos z$ ($r = 0, 1, \dots$) – полиномы Чебышева первого рода:

$$T_0(z) = 1, \quad T_1(z) = z, \quad T_2(z) = 2z^2 - 1, \dots;$$

$\eta_j^{(n)} = \cos \frac{j\pi}{n+1}$ ($j = 0, 1, \dots, n+1$) – точки, асимптотически близкие при $n \rightarrow \infty$ к

точкам альтернанса $\xi_j^{(n)}$ (точки, в которых разность непрерывной функции и ее полинома наилучшего приближения данной степени n достигает поочередно значений $\pm E_n(\varphi)$, где $E_n(\varphi) = \min_{P_n} \max_{-1 \leq z \leq 1} |\varphi(z) - P_n(z)|$ – наилучшее приближение полиномами P_n).

Справедливо:

$$|\varphi(z) - Q_n(z)| \leq E_n(\varphi) \left(E_n(\varphi) + 9 + \frac{2}{\pi} \ln(n+1) \right),$$

$$\left| \varphi(\eta_j^{(n)}) - Q_n(\eta_j^{(n)}) \right| \leq \frac{1}{2^n (n+1)!} \varphi^{(n+1)}(\theta) \quad (-1 < \theta < 1, j = 0, 1, \dots, n+1).$$

При аппроксимации (ограничимся полиномами степени $n=2$) функции двух переменных воспользуемся последовательной аппроксимацией асимптотическим полиномом по каждой из двух переменных (в итоге и получим требуемый вид асимптотического полинома $R(u, v)$ от двух переменных).

Введем

$$x = ru - q, \quad y = sv - h;$$

$$r = \frac{2}{b-a}, \quad q = \frac{b+a}{b-a}, \quad s = \frac{2}{d-c}, \quad h = \frac{d+c}{d-c};$$

при $a \leq u \leq b$, $c \leq v \leq d$ имеем $-1 \leq x \leq 1$, $-1 \leq y \leq 1$.

После замены переменных получим $F(u, v) = f(x, y)$.

Задача сведётся к аппроксимации заданной таблично-графически функции $f(x, y)$ (заданы графики функций $f(x_i, y_i)$, $i = 0, 1, \dots, m$). Впредь вместо $\eta_j^{(2)}$ используется обозначение η_j ($\eta_0 = 1, \eta_1 = \frac{1}{2}, \eta_2 = -\frac{1}{2}, \eta_3 = -1$). В дальнейшем необходимы значения $f_{kl} = f(\eta_k, \eta_l)$, $k, l = 0, 1, 2, 3$. Заданные значения y_i ($i = 0, 1, \dots, m$), вообще говоря, не совпадают с η_l ($l = 0, 1, 2, 3$). Если $m = 4$ и точки y_i эквидистантны, то достаточно удалить $y_2 = 0$, тогда $y_0 = -1 = \eta_3$, $y_1 = -\frac{1}{2} = \eta_2$, $y_3 = \frac{1}{2} = \eta_1$, $y_4 = 1 = \eta_0$. В остальных случаях значения $f_{kl} = f(\eta_k, \eta_l)$ можно определить приближенно в виде

$$f(\eta_k, \eta_l) \approx \sum_{i=0}^m f(\eta_k, y_i) \prod_{j \neq i} \frac{\eta_l - y_j}{y_i - y_j}$$

(интерполяционный полином Лагранжа степени m). Конечно, это неизбежно несколько снизит точность окончательного результата.

При каждом фиксированном значении y ($-1 \leq y \leq 1$) получим аппроксимацию

$$f(x, y) \approx b_0(y)T_0(x) + \sum_{p=1}^2 b_p(y)T_p(x),$$

где $b_0(y) = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^3 f(\eta_k, y)$, $b_p(y) = \frac{2}{3} \sum_{k=0}^3 f(\eta_k, y)T_p(\eta_k)$ ($p = 1, 2$).

В свою очередь, при каждом $k = 0, 1, 2, 3$ получим аппроксимацию

$$f(\eta_k, y) \approx b_{k0}T_0(y) + \sum_{q=1}^2 b_{kq}T_q(y),$$

где $b_{k0} = \frac{1}{3} \sum_{l=0}^3 f_{kl}$, $b_{kq} = \frac{2}{3} \sum_{l=0}^3 f_{kl}T_q(\eta_l)$ ($q = 1, 2$).

В итоге приходим к аппроксимации

$$f(x, y) \approx Q(x, y),$$

где $Q(x, y) = \frac{1}{9} \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 f_{kl} \left(1 + 2 \sum_{p=1}^2 T_p(\eta_k)T_p(x) + 2 \sum_{q=1}^2 T_q(\eta_l)T_q(y) + 4 \sum_{p=1}^2 \sum_{q=1}^2 T_p(\eta_k)T_q(\eta_l)T_p(x)T_q(y) \right)$.

Здесь $T_1(z) = z$, $T_2(z) = 2z^2 - 1$; $\eta_0 = 1, \eta_1 = \frac{1}{2}, \eta_2 = -\frac{1}{2}, \eta_3 = -1$.

После приведения подобных членов будем иметь:

$$Q(x, y) = \frac{1}{9} \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 f_{kl} (1 + 2\eta_k x + 2(2\eta_k^2 - 1)(2x^2 - 1) + 2\eta_l y + 2(2\eta_l^2 - 1)(2y^2 - 1) + 4\eta_k \eta_l xy + 4\eta_l (2\eta_k^2 - 1)y(2x^2 - 1) + 4\eta_k (2\eta_l^2 - 1)x(2y^2 - 1) + 4(2\eta_k^2 - 1)(2\eta_l^2 - 1)(2x^2 - 1)(2y^2 - 1)).$$

Таким образом, функция $f(x, y)$ на прямоугольнике $\{-1 \leq x \leq 1, -1 \leq y \leq 1\}$ аппроксимируется асимптотическим полиномом от двух переменных

$$Q(x, y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 + a_{21}x^2y + a_{12}xy^2 + a_{22}x^2y^2.$$

Коэффициенты $a_{ij} = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 c_{kl}^{ij} f_{kl}$ ($i, j = 0, 1, 2$) есть суммы произведений элементов матрицы $f = [f_{kl}]$ на соответствующие элементы матриц $c^{ij} = [c_{kl}^{ij}]$. А именно:

тов матрицы $f = [f_{kl}]$ на соответствующие элементы матриц $c^{ij} = [c_{kl}^{ij}]$. А именно:

$$c^{00} = \frac{1}{36} \begin{bmatrix} 1 & -4 & -4 & 1 \\ -4 & 16 & 16 & -4 \\ -4 & 16 & 16 & -4 \\ 1 & -4 & -4 & 1 \end{bmatrix}, \quad c^{10} = \frac{1}{18} \begin{bmatrix} -1 & 4 & 4 & -1 \\ -1 & 4 & 4 & -1 \\ 1 & -4 & -4 & 1 \\ 1 & -4 & -4 & 1 \end{bmatrix}, \quad c^{01} = \frac{1}{18} \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 \\ 4 & 4 & -4 & -4 \\ 4 & 4 & -4 & -4 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$c^{20} = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} -1 & 4 & 4 & -1 \\ 1 & -4 & -4 & 1 \\ 1 & -4 & -4 & 1 \\ -1 & 4 & 4 & -1 \end{bmatrix}, \quad c^{11} = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad c^{02} = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & -1 \\ 4 & -4 & -4 & 4 \\ 4 & -4 & -4 & 4 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix},$$

$$c^{21} = \frac{2}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}, c^{12} = \frac{2}{9} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}, c^{22} = \frac{4}{9} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Вернувшись к исходным переменным u, v , окончательно получим аппроксимирующей заданную функцию $F(u, v)$ на прямоугольнике $\{a \leq u \leq b, c \leq v \leq d\}$ асимптотический полином от двух переменных:

$$R(u, v) = Q(ru - q, sv - h); r = \frac{2}{b-a}, q = \frac{b+a}{b-a}, s = \frac{2}{d-c}, h = \frac{d+c}{d-c}.$$

Подчеркнем, что гораздо целесообразнее оставить этот полином расположенным по степеням $x = ru - q, y = sv - h$. Представление

$$R(u, v) = A_{00} + A_{10}u + A_{01}v + A_{20}u^2 + A_{11}uv + A_{02}v^2 + A_{21}u^2v + A_{12}uv^2 + A_{22}u^2v^2$$

требует вычисления новых коэффициентов A_{ij} :

$$A_{00} = a_{00} - qa_{10} - ha_{01} + q^2a_{20} + qha_{11} + h^2a_{02} - q^2ha_{21} - qh^2a_{12} + q^2h^2a_{22},$$

$$A_{10} = ra_{10} - 2rqa_{20} - rha_{11} + 2rqha_{21} + rh^2a_{12} - 2rqh^2a_{22},$$

$$A_{01} = sa_{01} - sqha_{11} - 2sha_{02} + sq^2a_{21} + 2sqha_{12} - 2sq^2ha_{22},$$

$$A_{20} = r^2a_{20} - r^2ha_{21} + r^2h^2a_{22},$$

$$A_{11} = rsa_{11} - 2rsqa_{21} - 2rsha_{12} + 4rsqha_{22},$$

$$A_{02} = s^2a_{02} - s^2qa_{12} + s^2q^2a_{22},$$

$$A_{21} = r^2sa_{21} - 2r^2sha_{22},$$

$$A_{12} = rs^2a_{12} - 2rs^2qa_{22},$$

$$A_{22} = r^2s^2a_{22},$$

что связано с неизбежным накоплением новых погрешностей.

Если среди значений $y = y_0, y_1, \dots, y_m$, при которых заданы графики зависимости функции $f(x, y)$ от x , нет хотя бы некоторых из значений $y = \eta_0^{(n)}, \eta_1^{(n)}, \dots, \eta_{n+1}^{(n)}$ (недостающие значения аппроксимируемой функции приходится находить с помощью интерполяционного полинома степени m), то повышение степени n аппроксимирующего полинома сверх $n = m - 1$, вообще говоря, лишь усложняет вычисления, но не увеличивает точность аппроксимации. Поэтому сделанный нами выбор аппроксимирующего полинома степени $n = 2$ предполагает, что $m + 1 \geq 4$.

Проиллюстрируем приведенную методику на примере аппроксимации функции $F(u, v)$, заданной на прямоугольнике $\{0 \leq u \leq 10; 0,4 \leq v \leq 0,9\}$ (табл. 1); $F(u, v) = f(x, y)$, где $x = 0,2u - 1, y = 4v - 2,6$.

Таблица 1

 Значения $F(u, v)$

-0,030	-0,250	-0,325	-0,375	1	10
-0,237	-0,390	-0,444	-0,461	0,5	7,5
-0,582	-0,555	-0,533	-0,498	-0,5	2,5
-0,640	-0,587	-0,547	-0,500	-1	0
1	0,2	-0,2	-1	x y v	u
0,9	0,7	0,6	0,4		

Два средних столбца, отвечающие значениям $v = 0,6; 0,7$, то есть значениям $y = -0,2; 0,2$, заменим столбцами, отвечающими значениям $y = -0,5; 0,5$. Для этого произведем интерполяцию с помощью полинома Лагранжа третьей степени:

$$f(\eta_k, \eta_l) = \sum_{i=0}^3 f(\eta_k, y_l) \prod_{j \neq i} \frac{\eta_l - y_j}{y_i - y_j} \quad (k = 0, 1, 2, 3; l = 1, 2),$$

где $y_0 = -1, y_1 = -0,2, y_2 = 0,2, y_3 = 1$; $\eta_0 = 1, \eta_1 = 0,5, \eta_2 = -0,5, \eta_3 = -1$.

Получим новую таблицу – матрицу $\mathbf{f} = [f_{kl}]$:

$$\mathbf{f} = \begin{bmatrix} -0,030 & -0,177 & -0,361 & -0,375 \\ -0,237 & -0,337 & -0,467 & -0,461 \\ -0,582 & -0,576 & -0,517 & -0,498 \\ -0,640 & -0,614 & -0,521 & -0,500 \end{bmatrix}.$$

Умножая элементы этой матрицы на соответствующие элементы матриц $c^{00}, c^{10}, c^{01}, c^{20}, c^{11}, c^{02}, c^{21}, c^{12}, c^{22}$, получим коэффициенты асимптотического полинома $Q(x, y)$:

$$a_{00} = -0,503, a_{10} = 0,141, a_{01} = 0,030, a_{20} = 0,074, a_{11} = 0,140, \\ a_{02} = 0,035, a_{21} = 0,019, a_{12} = 0,051, a_{22} = 0,002.$$

Таким образом,

$$Q(x, y) = -0,503 + 0,141x + 0,030y + 0,074x^2 + 0,140xy + 0,035y^2 + \\ + 0,019x^2y + 0,051xy^2 + 0,002x^2y^2.$$

Возвращаясь к исходным переменным, получим искомый полином

$$R(u, v) = Q(0,2u - 1, 4v - 2, 6),$$

аппроксимирующий заданную функцию.

Например,

$$F(2, 5; 0, 6) = -0,533, R(2, 5; 0, 6) = Q(-0,5; -0,2) = -0,554;$$

$$F(2, 5; 0, 7) = -0,555, R(2, 5; 0, 7) = Q(-0,5; 0,2) = -0,568;$$

$$F(7, 5; 0, 6) = -0,444, R(7, 5; 0, 6) = Q(0,5; -0,2) = -0,427;$$

$$F(7, 5; 0, 7) = -0,390, R(7, 5; 0, 7) = Q(-0,5; 0,2) = -0,385.$$

Если же разложить полином $R(u, v)$ по степеням u, v , вычислив коэффициенты $A_{00} = -0,455, A_{10} = 0,010, A_{01} = -0,073, A_{20} = -0,002, A_{11} = -0,114, A_{02} = -0,224, \\ A_{21} = 0,001, A_{12} = 0,150, A_{22} = 0,001,$

то полученное выражение

$$R(u, v) = -0,455 + 0,010u - 0,073v + 0,002u^2 - 0,114uv - 0,224v^2 + \\ + 0,001u^2v + 0,150uv^2 + 0,001u^2v^2$$

дает меньшую точность:

$$R(2, 5; 0, 6) = -0,575; R(2, 5; 0, 7) = -0,583; R(7, 5; 0, 6) = -0,404;$$

$$R(7, 5; 0, 7) = -0,418.$$

Окончательно получим

$$F(u, v) \approx Q(0, 2u - 1, 4v - 2, 6),$$

где

$$Q(x, y) = -0,503 + 0,141x + 0,030y + 0,074x^2 + 0,140xy + 0,035y^2 + 0,019x^2y + 0,051xy^2 + 0,002x^2y^2.$$

Функция $z = f(x, y)$ ($-1 \leq x \leq 1, -1 \leq y \leq 1$) может быть аппроксимирована и полиномом сколь угодно высокой степени n при наличии достаточно большого объема информации о значениях функции. Совершенно аналогично случаю $n = 2$ имеем следующее представление:

$$f(x, y) \sim Q_n(x, y) = \frac{1}{(n+1)^2} \sum_{k=0}^{n+1} \sum_{l=0}^{n+1} f_{kl} (1 + 2 \sum_{p=1}^n T_p(\eta_k^{(n)}) T_p(x) + 2 \sum_{q=1}^n T_q(\eta_l^{(n)}) T_q(y) + 4 \sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^n T_p(\eta_k^{(n)}) T_q(\eta_l^{(n)}) T_p(x) T_q(y)),$$

где $f_{kl} = f(\eta_k^{(n)}, \eta_l^{(n)})$, $\eta_j^{(n)} = \cos \frac{j\pi}{n+1}$ ($j = 0, 1, \dots, n+1$);

значения $\eta_j^{(n)}$ приводятся в табл.2.

Т а б л и ц а 2

Значения $\eta_j^{(n)}$

$n \backslash j$	0	1	2	3	4	...
1	1	0	-1			
2	1	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	-1		
3	1	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	
...

Справедливо:

$$\sum_{j=0}^{n+1} a_j = \frac{a_0}{2} + \sum_{j=1}^n a_j + \frac{a_{n+1}}{2};$$

полиномы Чебышева $T_r(z) = \cos(r \arccos z)$ ($r = 0, 1, 2, \dots$);

в частности,

$$\begin{aligned} T_0(z) &= 1, \\ T_1(z) &= z, \\ T_2(z) &= 2z^2 - 1, \\ T_3(z) &= 4z^3 - 3z, \\ &\dots \\ T_{r+1}(z) &= 2zT_r(z) - T_{r-1}(z) \\ &(r = 1, 2, \dots). \end{aligned}$$

Перегруппировывая члены и раскрывая символ \sum^l , окончательно получим:

$$Q_n(x, y) = A_0 + \sum_{p=1}^n A_p T_p(x) + \sum_{q=1}^n B_q T_q(y) + \sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^n c_{pq} T_p(x) T_q(y),$$

$$A_0 = \frac{1}{(n+1)^2} \left(\frac{1}{4} (f_{00} + f_{0n+1} + f_{n+10} + f_{n+1n+1}) + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \left(\sum_{l=1}^n f_{0l} + \sum_{l=1}^n f_{n+1l} + \sum_{k=1}^n f_{k0} + \sum_{k=1}^n f_{kn+1} \right) + \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n f_{kl} \right),$$

$$A_p = \frac{1}{(n+1)^2} \left(\left(\frac{1}{2} f_{00} + \frac{1}{2} f_{0n+1} + \sum_{l=1}^n f_{0l} \right) T_p(1) + \left(\frac{1}{2} f_{n+10} + \frac{1}{2} f_{n+1n+1} + \sum_{l=1}^n f_{n+1l} \right) T_p(-1) + \right. \\ \left. + \sum_{k=1}^n (f_{k0} + f_{kn+1} + 2 \sum_{l=1}^n f_{kl}) T_p(\eta_k^{(n)}) \right),$$

$$B_q = \frac{1}{(n+1)^2} \left(\left(\frac{1}{2} f_{00} + \frac{1}{2} f_{n+10} + \sum_{k=1}^n f_{k0} \right) T_q(1) + \left(\frac{1}{2} f_{0n+1} + \frac{1}{2} f_{n+1n+1} + \sum_{k=1}^n f_{kn+1} \right) T_q(-1) + \right. \\ \left. + \sum_{l=1}^n (f_{0l} + f_{n+1l} + \sum_{k=1}^n f_{kl}) T_q(\eta_l^{(n)}) \right),$$

$$c_{pq} = \frac{1}{(n+1)^2} \left((f_{00} T_q(1) T_q(1) + f_{0n+1} T_p(1) T_q(-1) + f_{n+10} T_p(-1) T_q(1) + f_{n+1n+1} T_p(-1) T_q(-1) + \right. \\ \left. + 2 \sum_{k=1}^n (f_{k0} T_q(1) + f_{kn+1} T_q(-1)) T_p(\eta_k^{(n)}) + \right. \\ \left. + 2 \sum_{l=1}^n (f_{0l} T_p(1) + f_{n+1l} T_p(-1)) T_q(\eta_l^{(n)}) + \right. \\ \left. + 4 \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n f_{kl} T_p(\eta_k^{(n)}) T_q(\eta_l^{(n)}) \right).$$

Значения $T_r(\eta_j^{(n)})$ при $n=1, 2, 3, \dots$ являются соответственно элементами матриц:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & -1 \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \frac{\sqrt{2}}{2} & 0 & -\frac{\sqrt{2}}{2} & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}, \dots$$

Приведенную методику легко распространить на случай аппроксимации функции трех переменных $F(u, v, w)$, заданной таблично-графически на параллелепипеде $\{a \leq u \leq b, c \leq v \leq d, e \leq w \leq f\}$ (конечным набором графиков, выражающих зависимость функции $F(u, v, w)$ от первой переменной u при каждом из заданных попарно различных наборов (v_i, w_j) значений остальных двух переменных v, w ($i = \overline{0, l}; j = \overline{0, m}$)).

Здесь, сделав замену переменной $x = ru - q$ ($-1 \leq x \leq 1$), перейдем к функции

$$\varphi(x, v, w) = F(u, v, w), \quad r = \frac{2}{b-a}, \quad q = \frac{b+a}{b-a}.$$

Выбор достаточно большого n определит на отрезке $-1 \leq x \leq 1$ набор точек $x = \eta_k^{(n)} = \cos \frac{k\pi}{n+1}$ ($k = \overline{0, n+1}$), асимптотически близких при $n \rightarrow \infty$ к точкам альтернанса $\xi_k^{(n)}$ (точки, в которых разность всякой непрерывной функции $\psi(x)$ и ее полинома наилучшего приближения $P_n(x)$ данной степени n достигает поочередно значений $\pm E_n(\psi)$, где $E_n(\psi) = \min_{P_n} \max_{-1 \leq x \leq 1} |\psi(x) - P_n(x)|$ – наилучшее приближение полиномом степени n).

Для каждого $k = \overline{0, n+1}$ построим для функции $\varphi(\eta_k^{(n)}, v, w)$ интерполяционный полином

$$H_k^{(n)}(v, w) = \sum_{j=0}^m {}^k \alpha^j(v) w^j = \sum_{j=0}^m \left(\sum_{i=0}^l {}^k \alpha_i^j v^i \right) w^j.$$

Коэффициенты ${}^k \alpha_i^j$ ($i = \overline{0, l}; j = \overline{0, m}$) этого полинома единственным образом определяются из системы $(l+1)(m+1)$ билинейных уравнений:

$$\sum_{j=0}^m {}^k \alpha^j(v_p) w_q^j = \sum_{j=0}^m \left(\sum_{i=0}^l {}^k \alpha_i^j v_p^i \right) w_q^j = \varphi(\eta_k^{(n)}, v_p, w_q), \quad (p = \overline{0, l}; q = \overline{0, m}),$$

равносильному матричному уравнению

$$\mathbf{V} \mathbf{A}_k \mathbf{W}_T = \mathbf{\Phi}_k,$$

где

$$\mathbf{A}_k = \left[{}^k \alpha_i^j \right]_{i=0,1,\dots,l}^{j=0,1,\dots,m}, \quad \mathbf{V} = \left[v_p^q \right]_{p=0,1,\dots,l}^{q=0,1,\dots,m} \text{ (вандермондова матрица } q\text{-х степеней от } v_p \text{),}$$

$$\mathbf{W}_T = \left[w_q^h \right]_{h=0,1,\dots,m}^{q=0,1,\dots,m} \text{ (транспонированная вандермондова матрица } h\text{-х степеней от } w_q \text{),}$$

$$\mathbf{\Phi}_k = \left[\varphi(\eta_k^{(n)}, v_p, w_q) \right]_{p=0,1,\dots,l}^{q=0,1,\dots,m}.$$

Откуда

$$\mathbf{A}_k = \mathbf{V}^{-1} \mathbf{\Phi}_k \mathbf{W}_T^{-1}, \quad k = \overline{0, n+1}$$

(с учетом некорректности метода решения, основанного на обращении матриц, может оказаться целесообразным получение коэффициентов ${}^k \alpha_i^j$ из указанных систем другими методами, например, методом исключения).

Далее при каждой фиксированной паре (v, w) значений переменных v, w построим для функции $\varphi(x, v, w)$ асимптотический полином $H^{(n)}(x, v, w)$ (достаточно высокой степени n):

$$H^{(n)}(x, v, w) = b_0(v, w) T_0(x) + \sum_{p=1}^n b_p(v, w) T_p(x),$$

$$b_0(v, w) = \frac{1}{n+1} \sum_{k=0}^{n+1} \varphi(\eta_k^{(n)}, v, w),$$

$$b_p(v, w) = \frac{2}{n+1} \sum_{k=0}^{n+1} \varphi(\eta_k^{(n)}, v, w) T_p(\eta_k^{(n)}) \quad p = \overline{1, n};$$

символ $\sum_{k=0}^{n+1} /$ означает $\sum_{k=0}^{n+1} / a_k = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n a_k + \frac{a_{n+1}}{2}$;

$T_p(x) = \cos(p \arccos x)$ – полиномы Чебышева первого рода, в частности,

$$T_0(x) = 1, T_1(x) = x, T_2(x) = 2x^2 - 1, T_3(x) = 4x^3 - 3x, \dots;$$

$$T_{p+1}(x) = 2xT_p(x) - T_{p-1}(x) \quad (p = 1, 2, \dots); \quad \eta_k^{(n)} = \cos \frac{k\pi}{n+1} \quad (k = \overline{0, n+1}).$$

Наконец, заменив функции $\varphi(\eta_k^{(n)}, v, w)$ построенными для них интерполяционными полиномами, получим полином, приближающий заданную функцию $F(u, v, w) = \varphi(ru - q, v, w) = \varphi(x, v, w)$:

$$Q^{(n)}(x, v, w) = c_0(v, w)T_0(x) + \sum_{p=1}^n c_p(v, w)T_p(x),$$

где

$$c_0(v, w) = \frac{1}{n+1} \sum_{k=0}^{n+1} / \sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^l k \alpha_i^j v^i w^j,$$

$$c_p(v, w) = \frac{2}{n+1} \sum_{k=0}^{n+1} / \sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^l k \alpha_i^j T_p(\eta_k^{(n)}) v^i w^j \quad (p = \overline{1, n});$$

Значения $T_p(\eta_j^{(n)})$ при $n=1, 2, 3, \dots$ являются, как и выше, соответственно элементами матриц:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & -1 \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \frac{\sqrt{2}}{2} & 0 & -\frac{\sqrt{2}}{2} & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}, \dots$$

Приведенный метод аппроксимации отличается простотой реализации на современных ЭВМ, эффективность его использования подтвердилась при разработке различных сложных систем [2], в том числе композиционных материалов.

Список литературы

1. Этерман, И.И. Аппроксимация функций асимптотическими полиномами / И.И. Этерман // Известия ВУЗов. Математика. – 1962. – №6. – С.162–171.
2. Данилов, А.М. Сложные системы: идентификация, синтез, управление: моногр. / А.М.Данилов, И.А.Гарькина. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 308 с.

References

1. Eterman, I.I. Approximation of functions by asymptotic polynomials / I.I.Eterman // Proceedings of the universities. Mathematics. – 1962. – № 6. – P.162-171
2. Danilov, A.M. Complex systems: identification, synthesis, control: monograph / A.M.Danilov, I.A.Garkina. – Penza: PGUAS, 2011. – 308 p.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства
Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Нежданов Кирилл Константинович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»,
заслуженный изобретатель России,
почетный строитель

Кузьмишкин Алексей Александрович,
кандидат технических наук, доцент,
директор Института инженерной экологии
E-mail: Kuzimishkin@yandex.ru

Гарькин Игорь Николаевич,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: igor_garkin@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Nezhdanov Kirill Konstantinovich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Building construction»,
Deserve inventor of Russia, honorary builder

Kuzmishkin Alexei Alexandrovich,
Candidate of Science, Associate Professor, Director
of the Institute of Environmental Engineering
E-mail: Kuzimishkin@yandex.ru

Garkin Igor Nikolaevich,
Postgraduate of the department «Building
structures»
E-mail: igor_garkin@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ТОЛСТОСТЕННЫХ ДВУТАВРОВЫХ КРАНОВЫХ РЕЛЬСОВ

К.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин

Рассматриваются вопросы повышения моментов инерции при кручении крановых рельсов. Получены математические зависимости, позволяющие определять моменты инерции кручения и другие параметры толстостенных двутавровых рельсов, эквивалентных фигурным по площади профилям стандартных рельсов.

Ключевые слова: крановый рельс, момент инерции при кручении.

THE USE OF THICK-WALLED TWIST CRANE RAILS

K.K. Nezhdanov, A.A. Kuzmishkin, I.N. Garkin

The questions of increasing the moments of crane rails torsion inertia are discussed. The authors have got mathematic dependence defining the inertia torsion moments and other parameters of thick-walled twist crane rails which are equal in area to standard profile rails.

Keywords: crane rail, the moment of torsion inertia.

Моменты инерции кручения $J_{кр}$ и изгиба J_x , J_y рельсов являются основными характеристиками, влияющими на ресурс и выносливость подрельсовой зоны подкрановых балок с тяжёлым режимом работы мостовых кранов 8К, 7К [1...3]. Моментов инерции $J_{кр}$ и J_x , J_y даже самых мощных крановых рельсов КР 140 не хватает [4] для достаточного снижения опасных амплитуд колебаний локальных напряжений в подрельсовой зоне подкрановых балок.

Колебания локальных напряжений приводят к возникновению усталостных трещин в зоне стыка верхнего пояса со стенкой и значительному снижению срока безопасной эксплуатации подкрановых балок [2, 4]. Актуальность гарантирования безопасной эксплуатации подкрановых балок в цехах чёрной и цветной металлургии высокая. Достигнута безопасная эксплуатация подкрановых балок за счет совершенствования конструкции крановых рельсов и узлов их соединения с верхними поясами балок.

Известно, что момент инерции кручения $J_{кр}$ фигурного рельса в значительной степени зависит от толщины шейки рельса [5, 6]. С увеличением толщины шейки $t_{ш}$ любого рельса момент инерции кручения $J_{кр}$ быстро возрастает, однако снижения

моментов инерции изгиба $J_p = J_x + J_y$ допускать не следует, так как они влияют на амплитуды колебаний локальных напряжений и на выносливость узла соединения.

В современном сортаменте при расчёте на выносливость используются моменты инерции кручения крановых рельсов [7], для стандартных крановых рельсов [8] значения моментов инерции кручения $J_{кр}$ завышены.

Известно, что моменты инерции кручения $J_{кр}$ рельсов и любых других сплошных массивных профилей увеличиваются при концентрации материала в центре. Например, **max** моментом инерции кручения обладает круглый в сечении сплошной стержень $J_{кр} = J_p = \pi D^4/32$, однако такой стержень для рельса плохо подходит. Превращение фигурного рельса в квадрат приводит к экстремальному возрастанию момента инерции кручения $J_{кр}$ – в 3,1 раза!

Поскольку сечение кранового рельса близко по очертаниям к сечению толстостенного двутавра, предлагается выполнить замену стандартного кранового рельса [8] эквивалентным двутавровым *толстостенным* рельсом, составленным из трёх прямоугольников, причём площадь сечения A и моменты инерции рельса при изгибе $J_p = J_x + J_y$ будут совпадать. Момент же инерции кручения $J_{кр}$ двутаврового *тол-*

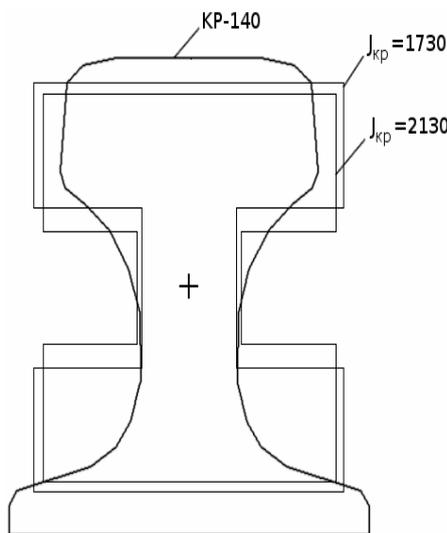


Рис. 1. Сопоставление контуров рельса КР-140 и двутавров той же площади

Вычислим площадь сечения:

$$A = 2tb + ht - t^2 \Rightarrow A = ht + 2t \frac{h}{K} - t^2. \quad (1)$$

Отсюда получаем коэффициент трансформации в зависимости от трёх параметров A, h, t :

$$K = \frac{2t \cdot h}{A + t^2 - ht}. \quad (2)$$

Записываем моменты инерции *толстостенного* двутаврового рельса относительно главных осей X и Y :

$$J_x = \frac{1}{12} (A_{конт} h^2 - A_0 h_0^2) \Rightarrow J_x = \frac{1}{12} \left[\frac{h^4}{K} - \left(\frac{h^2}{K} - A \right) \cdot (h - 2 \cdot t)^2 \right], \quad (3)$$

$$J_y = \frac{1}{12} \left[2A_{ГЛ} b^2 + (A - 2A_{ГЛ}) \cdot t^2 \right] \Rightarrow J_y = \frac{1}{12} \left[\frac{2h^3 \cdot t}{K^3} + \left(A - 2 \frac{h \cdot t}{K} \right) \cdot t^2 \right], \quad (4)$$

стостенного рельса вычисляется по математическим зависимостям [9].

Выполним равноценную эквивалентную замену стандартных крановых рельсов по ГОСТ 4121-62* равновеликими по площади сечения A и одинаково сопротивляющимися изгибу относительно главных осей X и Y *толстостенными* двутавровыми рельсами (рис.1). Вводим также площадь контура сечения $A_{конт} = h \cdot b$, $см^2$ и площадь пустот $A_0 = A_{конт} - A$, $см^2$.

Пусть требуется создать *толстостенный* рельс с полярным моментом инерции $J_p = J_x + J_y = 6099,71 + 3810,924 = 9910,63$ и с площадью сечения $A = 195,53$ $см^2$ (как в сортаменте) [8].

Введём коэффициент трансформации K площади сечения A . Обозначим отношение высоты сечения к его ширине: $K = \frac{h}{b} \Rightarrow h = K \cdot b$.

$$J_p = J_x + J_y \Rightarrow J_p = \frac{1}{12} \left[\frac{4t}{K} h^3 + \left(A - \frac{4t^2}{K} \right) h^2 - 4tA \cdot h + 4At^2 \right]. \quad (5)$$

Определяем требуемую высоту сечения h в зависимости от параметров t, A, J_p и коэффициента трансформации $K = \frac{2t \cdot h}{A + t^2 - ht}$ из уравнения третьей степени:

$$h^3 + \left(\frac{A}{K} - t \right) h^2 - AK \cdot h + AK \cdot t - 3J_p \frac{K}{t} = 0. \quad (6)$$

Выполним трансформацию фигурного рельса КР 140 (как в сортаменте) [8, с.60] с площадью сечения $A = 195,53 \text{ см}^2$, высотой $h = 19 \text{ см}$, шириной $b = 14 \text{ см}$, моментами инерции $J_x = 7427,23 \text{ см}^4$, $J_y = 2483,4 \text{ см}^4$ и полярным моментом инерции $J_p = J_x + J_y = 9910,63 \text{ см}^4$ в *толстостенный* двутавровый рельс. Вводим также площадь контура $A_{\text{конт}} = h \cdot b = 19 \cdot 14 = 266 \text{ см}^2$ и площадь пустот $A_0 = A_{\text{конт}} - A = 266 - 195,53 = 70,47 \text{ см}^2$.

Определяем для КР 140:

- коэффициент трансформации

$$K = \frac{2t \cdot h}{A + t^2 - h \cdot t} \Rightarrow K = \frac{2 \cdot 5 \cdot 19}{195,53 + 5^2 - 19 \cdot 5} = 1,513582;$$

- высоту сечения

$$h^3 + \left(\frac{195,53}{1,513582} - 5 \right) h^2 - 195,53 \cdot 1,513582 \cdot h + 195,53 \cdot 1,513582 \cdot 5 - 3 \cdot 9910,63 \frac{1,513582}{5} = 0,$$

$$h^3 + 9,79754h^2 - 295,95076h - 7520,5792 = 0 \Rightarrow h = 21,1064 \text{ см};$$

- ширину сечения $b = h / K = 13,9446 \text{ см}$.

$$\text{Проверка (5) } J_p = \frac{1}{12} \left[\frac{4t}{K} h^3 + \left(A - \frac{4t^2}{K} \right) h^2 - 4tA \cdot h + 4At^2 \right] = 9910,63 \text{ см}^4, \text{ совпал.}$$

Находим моменты инерции кручения [9] $J_{\text{кр}} = \eta \cdot t^4$ двух одинаковых прямоугольников (главы и подошва рельса) в зависимости от отношения большего размера к меньшему размеру $n = 13,9446/5 = 2,7889$. Интерполируем и по таблице [9, с.30] определяем коэффициент $\eta = 0,4834$, моменты инерции главы и подошвы рельса $\Rightarrow 2J_{\text{кр}} = 2 \cdot 0,4834 \cdot 5^4 = 604,25 \text{ см}^4$. Затем выполняем вычисления для шейки рельса при отношении $n = 11,1064/5 = 2,2212$, получаем $\eta = 0,1657 \Rightarrow J_{\text{кр ш}} = 0,4625 \cdot 5^4 = 289,1 \text{ см}^4$.

Окончательно суммарный момент инерции кручения двутаврового *толстостенного* рельса равен: $\sum J_{\text{кр}} = 604,45 + 289,1 = 893,3 \text{ см}^4$. В действующем сортаменте приведён момент инерции кручения КР 140 $J_{\text{кр}} = 2130 \text{ см}^4$ [9, с.60]. Вычисляем завышение момента инерции кручения в $2130/893,3 = 2,38$ раза.

В табл. 1 приведены параметры *толстостенных* прямоугольных в сечении рельсов, эквивалентных по площади A и полярным моментам инерции $J_p = J_x + J_y$ стандартным крановым рельсам по ГОСТ 4121-62*.

У стандартных крановых рельсов рекомендуем использовать в расчётах такие же моменты инерции при свободном кручении, так как эквивалентные профили подобраны при точном совпадении площадей A и полярных моментов инерции рельсов $J_p = J_x + J_y$.

Толстостенные двутавровые рельсы, эквивалентные стандартным фигурным рельсам по ГОСТ 4121-62*

Тип рельса	Площадь сечения $A, \text{см}^2$	Толщина $t, \text{см}$	$h, \text{см}$	$b, \text{см}$	$J_p, \text{см}^4$	$J_{кр}, \text{см}^4$	Завышение
КР 140	195,83	5	21,1064	13,9446	9910,62	894,6	2,38
КР 120	150,44	4,4	19,3585	12,2932	6618,62	538,8	2,45
КР 100	113,32	3,8	16,963	10,5289	3805,71	300	2,55
КР 80	81,13	3,2	14,6535	8,7657	2029,79	151	2,56
КР 70	67,3	2,8	13,3119	8,2288	1408,25	89,7	2,82

В табл. 2 приведены параметры эквивалентных рельсов прямоугольного сечения, рассчитанные при точном совпадении площадей A , отношения высоты сечения к толщине $n = h / t$, что гарантирует совпадение полярных моментов инерции рельсов $J_p = J_x + J_y$ со стандартными крановыми рельсами по ГОСТ 4121-62*.

Если же подставить $h = K \cdot b$, то получаем коэффициент трансформации в зависимости от A, b, t :

$$\Rightarrow K = \frac{2t \cdot K \cdot b}{A + t^2 - K \cdot b \cdot t} \Rightarrow 1 = \frac{2t \cdot b}{A + t^2 - K \cdot b \cdot t} \Rightarrow A + t^2 - K \cdot b \cdot t = 2t \cdot b \Rightarrow$$

$$A + t^2 - 2t \cdot b = K \cdot b \cdot t \Rightarrow K = \frac{A + t^2 - 2t \cdot b}{b \cdot t} \Rightarrow \frac{A}{b \cdot t} + \frac{t}{b} - 2 = 1,1629447$$

$$12J_p = 4 \cdot t \cdot K^2 b^3 + (AK^2 - 4t^2 \cdot K) \cdot b^2 - 4t \cdot K \cdot A \cdot b + 4A \cdot t^2$$

$$J_p = \frac{1}{12} \left[4 \cdot t \cdot K^2 b^3 + (AK^2 - 4t^2 \cdot K) \cdot b^2 - 4t \cdot K \cdot A \cdot b + 4A \cdot t^2 \right].$$

Определяем требуемую ширину сечения b в зависимости от параметров t, A, J_p и коэффициента трансформации $K = \frac{A + t^2 - 2t \cdot b}{b \cdot t}$ из уравнения третьей степени:

$$b^3 + \left(\frac{A}{4t} - 1 \right) \cdot b^2 - \frac{A}{K} b + \frac{1}{K^2} \left(A \cdot t - \frac{3J_p}{t} \right) = 0.$$

По изложенной методике выполняем трансформацию фигурного рельса КР 140 и получаем уравнение третьей степени:

$$b^3 + 8,7765 \cdot b^2 - 169,9628 \cdot b - 3754,274 = 0 \Rightarrow b = 16,1475,$$

высота сечения $h = K \cdot b = 1,1504 \cdot 16,1475 = 18,5726$.

Эквивалентный *толстостенный* двутавровый рельс получился значительно более широким. Предпочтение отдаём зависимости (6).

Выполним замену эквивалентных *толстостенных* двутавровых рельсов эквивалентными рельсами прямоугольного сечения при точном совпадении площадей A , тогда отношение высоты сечения к толщине $n = h / t$ гарантирует совпадение полярных моментов инерции рельсов $J_p = J_x + J_y$ со стандартными крановыми рельсами по ГОСТ 4121-62*.

$$J_p = J_x + J_y = \frac{A}{12} (h^2 + b^2), \quad h = \frac{A}{b} \Rightarrow$$

Получаем биквадратное уравнение, гарантирующее совпадение полярных моментов инерции рельсов $J_p = J_x + J_y$:

$$b^4 - \frac{12J_p}{A}b^2 + A^2 = 0.$$

Для фигурного рельса КР 140

$$b^4 - \frac{12 \cdot 9910,63}{195,53}b^2 + 195,53^2 = 0 \Rightarrow b^2 = 71,19 \Rightarrow b = 8,4374,$$

$$h = \frac{A}{b} = \frac{195,53}{8,4374} = 23,1742.$$

Увеличение момента инерции кручения рельса прямоугольного сечения по сравнению с *толстостенным* двутавровым рельсом составляет: $2445,3/894,6 = 2,73$ раза. В табл. 2 приведён сортамент рельсов, прямоугольных в сечении.

Т а б л и ц а 2

Прямоугольные рельсы, равноценные по площади сечения и полярному моменту инерции толстостенным двутавровым рельсам

Тип рельса	Площадь сечения A , см ²	J_p , см ⁴	h , см	b , см	K	$J_{кр}$, см ⁴
КР 140	195,83	9910,63	23,174	8,437	2,73	2445,3
КР 120	150,44	6618,62	21,929	6,86	3,15	1699,08
КР 100	113,32	3805,71	19,187	5,905	3,11	933,3
КР 80	81,13	2029,79	16,626	4,88	2,91	439,3
КР 70	67,3	1408,25	15,226	4,42	2,91	296,3

Выводы:

1. При сравнении *толстостенных* двутавровых рельсов с эквивалентными фигурными профилями стандартных рельсов выявлено *завышение* $J_{кр}$ у стандартных рельсов до 3 раз.

2. Предложен метод, позволяющий выполнить замену *толстостенных* двутавровых рельсов равновеликими по площади сечения A , имеющими одинаковые моменты инерции при изгибе относительно главных осей X и Y и их сумму (полярный момент инерции) $J_p = J_x + J_y$ прямоугольными профилями.

3. Сравнение моментов инерции при кручении $J_{кр}$ *толстостенных* двутавровых рельсов с равновеликими прямоугольными профилями показало значительное (до 3,43 раза) увеличение моментов инерции при кручении прямоугольных профилей рельсов.

Список литературы

1. Нежданов, К.К. Совершенствование подкрановых конструкций и методов их расчета: дис.... д-ра техн. наук / К.К. Нежданов. – Пенза, 1992. – 349 с.

2. Нежданов, К.К. Совершенствование подкрановых конструкций и методов их расчёта: моногр. / К.К. Нежданов. – Пенза: ПГУАС, 2008. – 288 с.

3. Сабуров, В.Ф. Закономерности усталостных повреждений и разработка метода расчётной оценки долговечности подкрановых путей производственных зданий: дис.... д-ра техн. наук / В.Ф. Сабуров. – Челябинск: ЮУрГУ, 2002. – 388 с.

4. Нежданов, К.К. Способ гарантирования заданной выносливости К-образного сварного шва в подрельсовой зоне стенки двутавровой подкрановой балки / К.К. Нежданов, А.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин // Строительная механика и расчёт сооружений. – 2008. – №1.

5. Нежданов, К.К. Вычисление моментов инерции рельсов при кручении / К.К. Нежданов, А.К. Нежданов // Строительная механика и расчёт сооружений. – 2008. – № 3.
6. Нежданов, К.К. Экстремальное повышение моментов инерции рельсов при кручении / К.К. Нежданов, А.К. Нежданов, И.Н. Гарькин // Строительная механика и расчёт сооружений. – 2011. – № 6.
7. Митюгов, Е.А. К определению моментов инерции крановых рельсов / Е.А. Митюгов // Строительная механика и расчёт сооружений. – 1968. – № 5.
8. Сахновский, М.М. Справочник конструктора строительных сварных конструкций / М.М. Сахновский. – М: Академия, 2007.
9. Писаренко, Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – 2-е изд., перераб. и доп.— Киев: Наук, думка, 1988. – 736 с.

References

1. Nezhdanov, K.K. Improving crane structures and methods of calculation: dis ... Dr. tech. Science / K.K. Nezhdanoff. – Penza, 1992. – 349 p.
2. Nezhdanov, K.K. Improving crane structures and methods of their calculation: monogr. / K.K. Nezhdanov. – Penza: PGUAS, 2008. – 288s.
3. Saburov, V.F. Patterns of fatigue damage and to develop a method of estimation of durability runways industrial buildings: Dis. ... Drs. tech. Science / V.F. Saburov. – Chelyabinsk: South Ural State University, 2002. – 388 p.
4. Nezhdanov, K.K. The way to guarantee a specified endurance-shaped weld zone under-rail I-wall crane beam / K.K. Nezhdanov, A.K. Nezhdanov, A.A. Kuzmishkin // Structural Mechanics and analysis of structures. – 2008. – № 1.
5. Nezhdanov, K.K. Calculation of the moments of inertia of rail torsional / K.K. Nezhdanov, A.K. Nezhdanov // Structural Mechanics and analysis of structures. – 2008. – № 3.
6. Nezhdanov, K.K. An extreme increase in the moments of inertia of rail torsional / K.K. Nezhdanov, A.K. Nezhdanov, I.N. Garkin // Structural Mechanics and analysis of structures. – 2011. – № 6.
7. Mityugov, E.A. On the definition of the moment of inertia of crane rails / E.A. Mityugov // Structural Mechanics and analysis of structures. – 1968. – № 5.
8. Sahnovsky, M.M. Reference design construction of welded structures / M.M. Sahnovsky. – M: The Academy, 2007.
9. Pisarenko, G.S. Guide to the strength of materials / G.S. Pisarenko, A.P. Yakovlev, V.V. Matveev. – 2nd ed., Rev. and add. – Kiev: Naukova Dumka, 1988. – 736 p.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, д.28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор, советник РААСН, зав. кафедрой «Математика и математическое моделирование»
E-mail: fmatem@pguas.ru

Гарькина Ирина Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры «Математика и математическое моделирование».
E-mail: fmatem@pguas.ru

Гарькин Игорь Николаевич, аспирант кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: igor_garkin@mail.ru

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Danilov Alexander Maksimovich, Doctor of Science, Professor, Adviser of the Russian Academy of Architectural and Building Science, Head of the department «Mathematics and Mathematical Modeling»
E-mail: fmatem@pguas.ru

Garkina Irina Aleksandrovna, Doctor of Science, Professor of the department «Mathematics and Mathematical Modeling»
E-mail: fmatem@pguas.ru

Garkin Igor Nikolaevich, Postgraduate of the department «Building construction»
E-mail: igor_garkin@mail.ru

ЗАЩИТА ОТ УДАРА И СОПРОВОЖДАЮЩЕЙ ВИБРАЦИИ: ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНО-ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ФУНКЦИЙ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина, И.Н. Гарькин

Предлагается метод экспоненциально-тригонометрической аппроксимации функций, ориентированный на решение задач защиты от удара и сопровождающей вибрации элементов конструкции. Метод прошел апробацию при разработке систем управления объектом (как на неподвижном, так и на подвижном основании) с упругим приводом.

Ключевые слова: удар, сопровождающая вибрация, защита, аппроксимация.

PROTECTION FROM SHOCK AND ACCOMPANYING VIBRATIONS: EXPONENTIAL-TRIGONOMETRIC APPROXIMATION OF FUNCTIONS

A method of exponential-trigonometric approximation of functions is proposed. The method focuses on the tasks of structures protection against shock and vibration. The method has been tested in the development of systems for object managing (on fixed and mobile basis).

Keywords: shock, accompanying vibration, protection, approximation.

Механические колебания при ударе обусловлены динамическими явлениями, связанными с наличием допусков, зазоров и поверхностных контактов отдельных деталей механизмов и сил, возникающих при вращении и возвратно-поступательном движении неуравновешенных элементов и деталей. Даже колебания с малой амплитудой, вызывая резонансные колебания других элементов конструкций; усиливаются и становятся источником вибрации и шума.

Разработка методов защиты от удара и сопровождающих вибраций практически всегда связана с решением задачи экспоненциально-тригонометрической аппроксима-

ции функции $y = f(x)$, заданной таблично (экспериментальные данные) на отрезке $0 \leq x \leq X$. Для определенности будем искать приближение $f(x)$ выражением вида

$$Q(x) = Ae^{-\alpha x} G(x),$$

где $G(x)$ – чётный тригонометрический полином.

Для определения параметров A и α экспоненциального множителя $Ae^{-\alpha x}$ построим огибающую заданной функции, выделив из конечной последовательности модулей заданных значений функции строго убывающую, вогнутую последовательность ординат:

– построим (конечную) последовательность модулей заданных значений функций $z_k = |y_k| = |f(x_k)|$, $k = \overline{0, n}$;

– извлечём из этой последовательности строго убывающую последовательность $w_k = |f(v_k)|$, $k = \overline{0, m}$, сравнивая поочерёдно смежные члены; если данный член окажется не меньше предыдущего, то все предыдущие члены, которые не больше данного, исключаются;

– из полученной последовательности извлечем строго вогнутую последовательность $s_k = |f(r_k)|$, $k = \overline{0, p}$, сравнивая поочерёдно угловые коэффициенты смежных звеньев полученной ломаной; если данный угловой коэффициент не больше предыдущего, то исключим все те предыдущие вершины ломаной, которые окажутся ниже прямой, продолжающей влево данное звено. Ординаты вершин полученной ломаной и дадут требуемую конечную строго убывающую, строго вогнутую последовательность $y = s_k = |f(r_k)|$, где $x = r_k$ – отобранные значения независимой переменной x , $k = \overline{0, p}$.

Далее полученную зависимость $s_k = |f(r_k)|$, $k = \overline{0, p}$ аппроксимируем экспоненциальной функцией $Ae^{-\alpha x}$ методом наименьших квадратов. Параметры A и α определяются из системы уравнений

$$(p+1) \ln A - \alpha \sum_{k=0}^p r_k = \sum_{k=0}^p \ln s_k,$$

$$\ln A \sum_{k=0}^p r_k - \alpha \sum_{k=0}^p r_k^2 = \sum_{k=0}^p r_k \ln s_k.$$

Затем по заданной таблице значений функции $y = f(x)$ построим таблицу значений функции $t = \frac{1}{A} e^{\alpha x} y$ и интерполируем величину t чётным тригонометрическим полиномом

$$G(x) = \frac{1}{A} \sum_{k=0}^n e^{\alpha x_k} y_k l_k(x),$$

где $l_k(x) = \prod_{j \neq k} \left(\frac{\cos \frac{\pi}{X} x - \cos \frac{\pi}{X} x_j}{\cos \frac{\pi}{X} x_k - \cos \frac{\pi}{X} x_j} \right)$.

Окончательно:

$$Q(x) = Ae^{-\alpha x} G(x).$$

В качестве иллюстрации рассмотрим экспоненциально-тригонометрическую аппроксимацию экспериментальных данных (табличные значения $y = f(x)$, полученные по осциллограммам, см. таблицу).

x	y								
1	0,2967	19	0,2803	37	-0,0322	55	-0,1925	73	0,0430
3	0,0499	21	0,1622	39	-0,0156	57	-0,1668	75	0,0517
5	-0,3358	23	0,0932	41	0,0315	59	-0,1060	77	0,0549
7	-0,7092	25	0,0794	43	0,0772	61	-0,0380	79	0,0340
9	-0,5298	27	0,0769	45	0,0970	63	0,0366	81	-0,0100
11	-0,5676	29	0,0675	47	0,0717	65	0,0901	83	-0,0481
13	-0,1125	31	0,0409	49	0,0057	67	0,1051	85	-0,0451
15	0,2613	33	0,0057	51	-0,0897	69	0,0835	87	-0,0519
17	0,5613	35	-0,0284	53	-0,1655	71	0,0535	89	-0,0313

Определим параметры A и α экспоненциального множителя $Ae^{-\alpha x}$ (график функции $y = f(x)$ вписывается в область, ограниченную кривыми $y = Ae^{-\alpha x}$, $y = -Ae^{-\alpha x}$). Для этого по заданной последовательности $y_k = f(x_k)$ значений функции, где $x_k = x_0 + kh$ ($x_0 = 1$, $h = 2$, $k = \overline{0, n}$, $n=44$ – четное число), построим последовательность $|y_k| = |f(x_k)|$ модулей этих значений и из неё извлечём строго убывающую последовательность $w_k = |f(v_k)|$, $k = \overline{0, q}$, а именно последовательность:

$$w_0 = |f(9)| = 0,8298, w_1 = |f(17)| = 0,5613, w_2 = |f(55)| = 0,1925, \\ w_3 = |f(67)| = 0,1051, w_4 = |f(77)| = 0,0549, w_5 = |f(87)| = 0,0519; (q=5).$$

Угловые коэффициенты звеньев полученной ломаной (-0,0336; -0,0097; -0,0073; -0,0050; -0,0033) строго возрастают; последовательность w_k совпадает с выделяемой из неё строго убывающей, вогнутой последовательностью $s_k = |f(r_k)|$: $s_k = w_k$, $r_k = v_k$, $k = \overline{0, p}$; $p = q = 5$. Аппроксимируем эту последовательность функцией вида $Ae^{-\alpha x}$ методом наименьших квадратов; $A=1,13539$, $\alpha=0,03618$.

Далее функцию $\frac{1}{A}e^{\alpha x} f(x)$ аппроксимируем частной суммой $G(x)$ ряда Фурье, добавляя в неё новые члены до тех пор, пока не будет достигнута требуемая точность аппроксимации. В рассматриваемом случае функция $\frac{1}{A}e^{\alpha x} f(x)$ на заданном отрезке обнаруживает приближительную периодичность с периодом $2l=48=24h$. Рассмотрим разложение на отрезке длиной $2l=48$ тригонометрическим полиномом

$$G(x) = a_0 + a_1 \cos \frac{\pi}{l} x + a_2 \cos \frac{2\pi}{l} x + a_3 \cos \frac{3\pi}{l} x + b_1 \sin \frac{\pi}{l} x + b_2 \sin \frac{2\pi}{l} x + b_3 \sin \frac{3\pi}{l} x$$

(в данном случае достигается удовлетворительная точность; для достижения большей точности следует добавить новые члены).

Коэффициенты Фурье

$$a_k = \frac{1}{l} \int_{x_0}^{x_0+2l} \frac{1}{A} e^{\alpha x} f(x) \cos \frac{k\pi}{l} x dx,$$

$$b_k = \frac{1}{l} \int_{x_0}^{x_0+2l} \frac{1}{A} e^{\alpha x} f(x) \sin \frac{k\pi}{l} x dx$$

приближённо определялись по формуле Симпсона:

$$a_k = \frac{1}{lA} \cdot \frac{h}{3} \left(c_{k_0} + c_{k_{24}} + 4(c_{k_1} + c_{k_3} + \dots + c_{k_{23}}) + 2(c_{k_2} + c_{k_4} + \dots + c_{k_{22}}) \right), \quad k = \overline{0,3};$$

$$b_k = \frac{1}{lA} \cdot \frac{h}{3} \left(s_{k_0} + s_{k_{24}} + 4(s_{k_1} + s_{k_3} + \dots + s_{k_{23}}) + 2(s_{k_2} + s_{k_4} + \dots + s_{k_{22}}) \right), \quad k = \overline{1,3};$$

$$c_{ki} = (e^\alpha)^{x_i} f(x_i) \cos \frac{k\pi}{l} x_i, \quad k = \overline{0,3}; \quad s_{ki} = (e^\alpha)^{x_i} f(x_i) \sin \frac{k\pi}{l} x_i, \quad k = \overline{1,3};$$

$$x_i = x_0 + ih = 1 + 2i, \left(i = 0, 1, \dots, \frac{2l}{h}; \frac{2l}{h} - 24 \right).$$

Подставив $a_0 = 0,07933$, $a_1 = -0,17080$, $b_1 = -0,13193$, $a_2 = 0,23027$, $b_2 = -0,32187$, $a_3 = 0,30377$, $b_3 = 0,02186$, получим:

$$f(x) \approx Q(x) = 1,13539 e^{-0,03618x} (0,07933 - 0,017080 \cos \frac{\pi}{24} x - 0,13193 \sin \frac{\pi}{24} x + 0,23027 \cos \frac{2\pi}{24} x - 0,32187 \sin \frac{2\pi}{24} x + 0,30377 \cos \frac{3\pi}{24} x + 0,02186 \sin \frac{3\pi}{24} x).$$

Рассмотренный метод аппроксимации использовался при анализе работы упругого электропривода с учетом люфта и трения, в том числе в задачах управления объектами на подвижном основании [1,2]; подтвердилась его эффективность.

Список литературы

1. Гарькина, И.А. Математическое и компьютерное моделирование сложных систем / И.А.Гарькина, А.М.Данилов, Э.Р.Домке. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 296 с.
2. Авиационные тренажеры модульной архитектуры: монография / Э.В. Лапшин [и др.]; под ред. Э.В. Лапшина, А.М. Данилова. – Пенза: ИИЦ ПГУ, 2005. – 146 с.

References

1. Garkina, I.A. Mathematical and computer modeling of complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.R. Domke. – Penza: PGUAS, 2011. – 296 p.
2. Flight Simulators of modular architecture: monograph / E.V. Lapshin [and ets.]; editors E.V. Lapshin, A.M. Danilov. – Penza: Information and publishing center, Penza State University, 2005. – 146 p.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Вдовин Вячеслав Михайлович,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»

Мухаев Александр Иванович,
старший преподаватель кафедры
«Экспертиза и управление
недвижимостью»
E-mail: alexir-m@mail.ru

Арискин Максим Васильевич,
старший преподаватель кафедры
«Строительные конструкции»
E-mail: m.v.ariskin@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Vdovin Vyacheslav Mihailovich,
Candidate of Science, Professor of the
department «Building construction»

Muhaev Alexander Ivanovic,
Senior lecturer of the department
«Examination and management of real estate»
E-mail: alexir-m@mail.ru

Ariskin Maxim Vasilevich,
Senior lecturer of the department «Building
construction»
E-mail: m.v.ariskin @ mail.ru

ПРЕДЕЛЬНАЯ НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЦЕНТРОВОЙ ВКЛЕЕННОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ШПОНКИ

В.М.Вдовин, А.И.Мухаев, М.В.Арискин

Дается оценка экспериментальных результатов работы клеюметаллических соединений деревянных конструкций с применением центральной клеенной кольцевой шпонки. Приводятся величины предельных нагрузок на соединения в табличном виде с учетом различных параметров шпонок и их зависимости от диаметра, толщины и ширины кольца шпонки. На основе оценки результатов эксперимента получены величины коэффициентов надежности для расчетной несущей способности соединения.

Ключевые слова: деревянные конструкции, клеевые соединения, шпонка, разрушающая нагрузка.

ULTIMATE BEARING CAPACITY OF THE RING CENTER-GLUED DOWELS

V.M.Vdovin, A.I.Muhaev, M.V.Ariskin

Estimation of experimental results of gluemetallic connections with the use of wood glued center-ring key is given. Limit loads on the connection are tabulated according to different parameters of dowels on the basis of the experimental results they have got reliability coefficient for calculation of connection bearing capacity.

Keywords: wooden structures, joints, glue, dowel, the breaking load.

Деревянные конструкции обладают достаточно большим разнообразием соединений элементов, но тем не менее поиск более совершенных видов продолжается. Сравнительно новым узловым и стыковым соединением является клеюметаллическое, в котором центровая кольцевая металлическая шпонка вставляется в соответствующее гнездо, выбранное в деревянном элементе и предварительно заполненное полимерным клеем; в дальнейшем назовем его соединением на ЦККШ. Общее описание и некоторые результаты экспериментальных исследований соединения на ЦККШ, которые приведены в [1, 2], показали его высокую прочность и жесткость по сравнению с другими видами соединений элементов деревянных конструкций.

Однако представленные в [1, 2] результаты основаны на испытаниях ограниченного количества образцов, с малым разнообразием параметров шпонок и, кроме того, не доведены до получения надежной величины предельной нагрузки на шпонку. В

данной работе рассматриваются результаты многочисленных испытаний с различными размерами шпонок с целью получения расчетной величины предельной несущей способности соединения на ЦККШ, отвечающей требуемой эксплуатационной надежности конструкций. Общий вид испытываемых образцов и схемы нагружения приведены на рисунке.

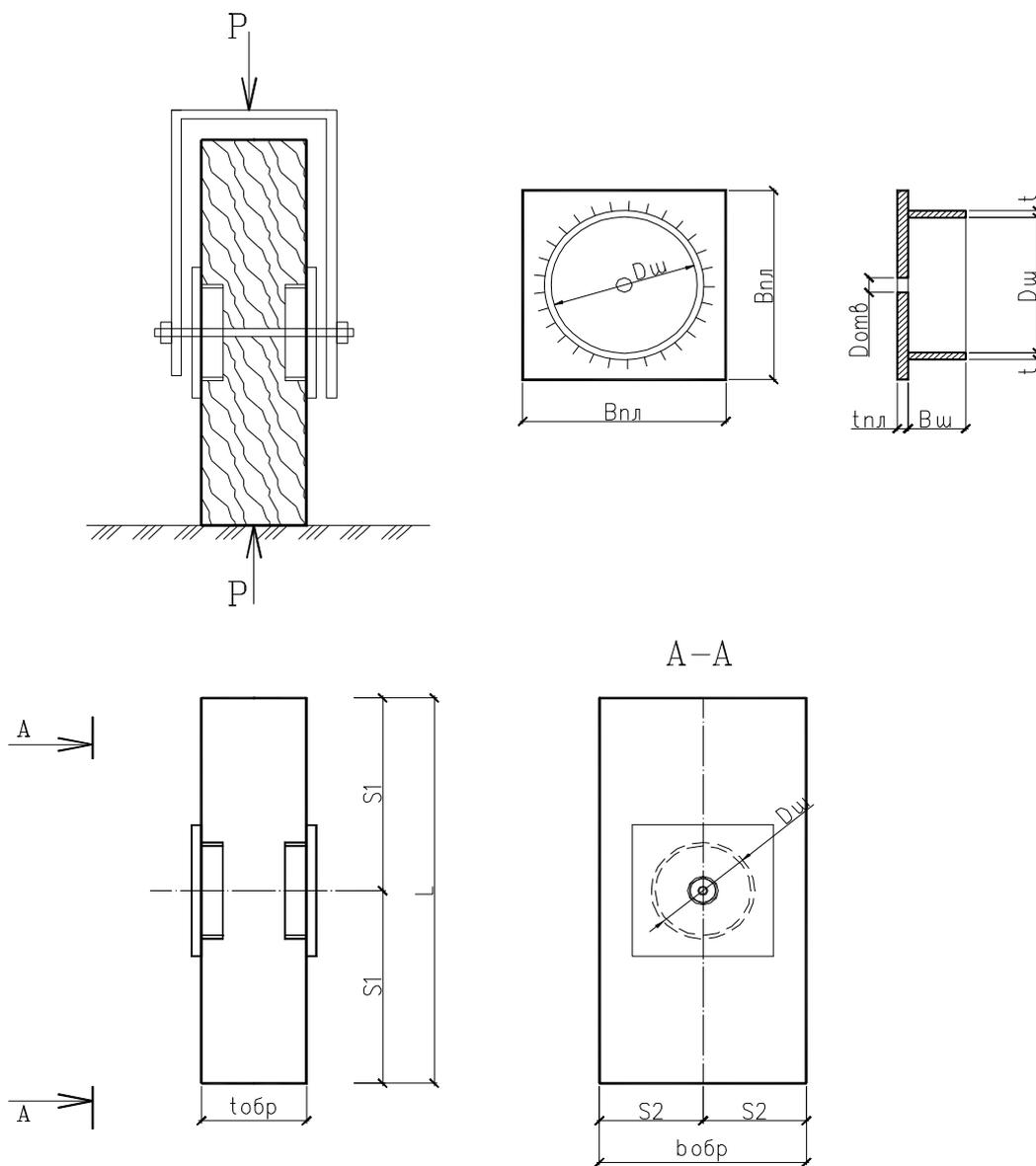


Схема нагружения и основные параметры испытываемых образцов на ЦККШ

Испытанию подверглись шпонки диаметром $D_{шп}=50, 60, 75$ и 100 мм, шириной $b_{шпн}=20$ и 30 мм. В каждой партии не менее 5 образцов, что позволило произвести статистическую обработку полученных результатов. В табл. 1 приведены значения разрушающих нагрузок $P_{разр}$ для каждого образца, а также средние значения разрушающей нагрузки N_{Pi} для каждой серии образцов.

Данные, представленные в табл. 1, относятся к образцам, имеющим спаренные шпонки, т.е. вклеенные с обеих сторон дощатого элемента. Выделять величину разрушающей нагрузки, приходящейся на одну шпонку, не следует, т.к. данное соединение применяется только со спаренными вклеенными шпонками, аналогично соединениям на клеестальных шпонках или на металлических зубчатых пластинках (МЗП).

Результаты испытаний соединений на ЦККШ

Марка образца	Диаметр шпонки, мм	Ширина шпонки, мм	Расстояние, мм		Разрушающая нагрузка	
			S_1	S_2	$P_{\text{разр}}$, кН	N_{Pi} , кН
2ЦККШ-50-1Б	50	20	75	50	77,00	67,20
2ЦККШ-50-2Б	50	20	75	50	62,00	
2ЦККШ-50-3Б	50	20	75	50	78,30	
2ЦККШ-50-4Б	50	20	75	50	60,00	
2ЦККШ-50-5Б	50	20	75	50	58,80	
2ЦККШ-60-1Б	60	20	90	60	78,00	92,80
2ЦККШ-60-2Б	60	20	90	60	100,00	
2ЦККШ-60-3Б	60	20	90	60	86,00	
2ЦККШ-60-4Б	60	20	90	60	105,00	
2ЦККШ-60-5Б	60	20	90	60	95,00	
3ЦККШ-60-1Б	60	30	90	60	115,0	120,64
3ЦККШ-60-2Б	60	30	90	60	128,0	
3ЦККШ-60-3Б	60	30	90	60	120,2	
3ЦККШ-60-4Б	60	30	90	60	115,4	
3ЦККШ-60-5Б	60	30	90	60	124,6	
2ЦККШ-75-3Б	75	20	115	75	104,50	111,64
2ЦККШ-75-3Б	75	20	115	75	109,20	
2ЦККШ-75-3Б	75	20	115	75	120,00	
2ЦККШ-75-4Б	75	20	115	75	113,50	
2ЦККШ-75-5Б	75	20	115	75	111,00	
3ЦККШ-75-1Б	75	30	115	75	129,0	136,2
3ЦККШ-75-2Б	75	30	115	75	137,4	
3ЦККШ-75-3Б	75	30	115	75	127,4	
3ЦККШ-75-4Б	75	30	115	75	140,0	
3ЦККШ-75-5Б	75	30	115	75	147,2	
2ЦККШ-100-1Б	100	20	150	100	116,20	129,10
2ЦККШ-100-2Б	100	20	150	100	138,50	
2ЦККШ-100-3Б	100	20	150	100	135,50	
2ЦККШ-100-4Б	100	20	150	100	129,00	
2ЦККШ-100-5Б	100	20	150	100	126,50	
3ЦККШ-100-1Б	100	30	150	100	155,0	165,38
3ЦККШ-100-2Б	100	30	150	100	158,2	
3ЦККШ-100-3Б	100	30	150	100	175,2	
3ЦККШ-100-4Б	100	30	150	100	168,0	
3ЦККШ-100-5Б	100	30	150	100	170,5	

Пр и м е ч а н и е . В марке образца первая цифра означает ширину шпонки $b_{\text{шп}}$ в см, а последняя – диаметр $D_{\text{шп}}$ в мм.

Как видно из данных табл. 1, величина разрушающей нагрузки существенно зависит от двух параметров шпонки: диаметра $D_{\text{шп}}$ и ширины $b_{\text{шп}}$, что позволяет сделать заключение о преимущественной работе соединения на смятие древесины, т.е. более пластической, что подтверждается экспериментами и что в дальнейшем было учтено при определении коэффициента надежности работы соединения. Для практических расчетов необходимо знать величину расчетной несущей способности соединения, отражающей безопасный уровень нагрузки, которую оно может воспринять, с учетом влияния всех факторов, отрицательно влияющих на длительную эксплуатацию соединения.

Безопасность работы деревянных конструкций учитывается при назначении их несущей способности введением коэффициента надежности k , вследствие чего расчетная несущая способность, при определении ее через величину кратковременной разрушающей нагрузки $N_{\text{разр}}$, подсчитывается как

$$[N] \leq N_{\text{разр}} / k. \quad (1)$$

Общее выражение коэффициента надежности k , согласно рекомендациям [2], для деревянных конструкций традиционно имеем вид

$$k = k_1(t) \cdot \beta \cdot k_2 \cdot k_3, \quad (2)$$

где $k_1(t)$ – коэффициент длительной прочности (> 1), или временная часть коэффициента надежности; β – коэффициент, равный для несущих конструкций покрытий отношению P_d/P (P – полная расчетная нагрузка, P_d – временная (снеговая) нагрузка); k_2 и k_3 – компоненты коэффициента надежности, учитывающие разброс опытных значений несущей способности (k_2) (вероятностная часть коэффициента надежности) и изменение работы деформации при пластическом и хрупком разрушении (k_3).

Для учета временной части коэффициента надежности (k_1) воспользуемся рекомендациями [4], основанными на исследованиях длительной прочности древесины.

При пластическом разрушении, что имело место в процессе испытаний образцов, для соединений группы I:

$$k_1(t) = 1.97 - 0.119 \cdot \lg t \text{ – для срока службы 50 лет;}$$

$$k_1(t) = 1.91 - 0.112 \cdot \lg t \text{ – для срока службы 25 лет;} \quad (3)$$

$$k_1(t) = 1.94 - 0.116 \cdot \lg t \text{ – среднее для сроков службы 25...50 лет.}$$

Здесь $t = t_1^1 / 38.2$ – приведенное время (t_1^1 – продолжительность испытания с постоянной скоростью нагружения).

Все результаты испытаний рассматривались как малые выборки из генеральных совокупностей значений разрушающих нагрузок для соединений на клеенных кольцевых шпонках при передаче усилий вдоль волокон. Для каждой выборки результатов испытаний определялись средние значения разрушающих нагрузок N_{pi} , представленные в табл.1, эмпирические дисперсии S^2 и относительные дисперсии $S_{i,от}^2 = S^2 / N_{pi}$, приведенные в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Статистические характеристики результатов испытания соединений

№ партии	Серия образцов (марка)	n_i	N_{pi} , кН	S^2	$S_{i,от}^2$
1	2ЦККШ-50	5	67,22	92.172	1,371
2	2ЦККШ-60	5	92,80	117.7	1,268
3	3ЦККШ-60	5	120,64	32.328	0,2679
4	2ЦККШ-75	5	111,64	32.673	0,293
5	3ЦККШ-75	5	136,20	66.54	0,488
6	2ЦККШ-100	5	129,14	75.623	0,585
7	3ЦККШ-100	5	165,38	72.202	0,436

Проверка гипотезы о равенстве (однородности) эмпирических дисперсий при одинаковых объемах выборок $n=5$, основанной на выполнении нижеприведенного неравенства, осуществляется с помощью критерия Хартеля:

$$\frac{S_{i,от\max}^2}{S_{i,от\min}^2} \leq F_a, \quad (4)$$

где $F_a=33,679$ – критическое значение критерия Хартеля для уровня статистической значимости $\alpha=0,05$, числа серий $m=7$ и числа степеней свободы $K=35-1=34$ [4].

Поскольку выполняется неравенство (4) $1,37/0,267=5,11 < F_{\alpha}$, то нулевая гипотеза о равенстве генеральных дисперсий не отвергается. В этом случае оценкой генеральной дисперсии служит эмпирическая дисперсия, которую определяем по формуле

$$S_{от}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (n_i - 1) S_{i,от}^2}{\sum_{i=1}^m n_i - m} \quad (5)$$

и которая составила $S_{от}^2 = 0,1472$.

Границы доверительного интервала для генеральной дисперсии с доверительной вероятностью $P=1-\alpha$ находим из выражения

$$S_{от}^2 \cdot \frac{n-1}{\chi_{P_2}^2} < \sigma_{от}^2 < S_{от}^2 \cdot \frac{n-1}{\chi_{P_1}^2}, \quad (6)$$

$$\chi_{P_{1,2}}^2 = K \left[1 - \frac{2}{9K} + Z_p \sqrt{\frac{2}{9K}} \right]^3, \quad (7)$$

где Z_p – квантиль нормированного нормального распределения (для $P=0,05$ $Z_p=-1,645$, а для $P=0,95$ $Z_p=1,645$, $K=34$).

Для принятого уровня статистической значимости $\alpha=0,1$, $P_2=0,95$, $P_1=0,05$ и $K=34$ значения коэффициентов составили $\chi_{P_1}^2=21,66$ и $\chi_{P_2}^2=48,59$. С учетом всех составляющих в выражении (6) границы интервала будут следующими:

$$0,0121 < \sigma_{от}^2 < 0,0271, \quad (8)$$

и для $\sigma_{от}$, представляющего собой генеральный коэффициент вариации, имеем

$$0,110 < \sigma_{от} < 0,1648.$$

Выборочный коэффициент вариации

$$V = \frac{0,11 + 0,1648}{2} = 0,1374. \quad (9)$$

Принимая с округлением $V=0,137$, найдем коэффициент k_2 :

$$k_2 = \frac{1}{1 - t_p \cdot V} = 1,379, \quad (10)$$

где t_p зависит от нормированной обеспеченности и вида функции распределения (для $P=0,95$ при нормальном распределении $t_p=2$).

Приняв для соединений на ЦККШ доверительную вероятность 0,95 при нормальном распределении прочности данного соединения, получим $k_2=1,379$. Величина k_2 несколько мала и отличается от общепринятых значений для деревянных конструкций $k_2=1,42$, а также для прогнозирования надежности новых видов соединений деревянных конструкций $k_2=1,57$, что может говорить о чистоте проведенного эксперимента, т.е. о малом количестве дефектов древесины испытываемых образцов, способных повлиять на преждевременное разрушение, а следовательно, и на больший разброс величин разрушающих нагрузок. Определим коэффициенты надежности:

– для сроков службы 50 лет

$$k_{(50)} = 1,1 \cdot 0,8 \cdot 1,008 \cdot (1,97 - 0,119 \cdot \lg t) = 1,56,$$

– для сроков службы 25 лет

$$k_{(25)} = 1,1 \cdot 0,8 \cdot 1,026 \cdot (1,91 - 0,112 \cdot \lg t) = 1,61, \quad (11)$$

– среднее значение для сроков службы 25-50 лет

$$k = 1,1 \cdot 0,8 \cdot 1,026 \cdot (1,94 - 0,116 \cdot \lg t) = 1,58.$$

Для обеспечения достаточной надежности практических расчетов с некоторым запасом, учитывая малый разброс полученных экспериментальных данных, значение коэффициента надежности k примем равным 2,0.

Используя данные экспериментов (см. табл. 1), с учетом коэффициента $k=2,0$ получим величины расчетных несущих способностей для соединений на ЦККШ с различными значениями $D_{шп}$ и $b_{шп}$. Значения их приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Величина расчетной несущей способности соединения

Диаметр шпонки $D_{ш, мм}$	Величина $[N]$, кН, при ширине шпонки b , мм	
	20	30
50	33,61	-
60	46,4	60,32
75	55,82	68,1
100	64,57	82,69

Таким образом, произведенная оценка несущей способности соединения на центральных клеекольцевых шпонках при пластическом характере разрушения позволяет получить надежные величины расчетных предельных нагрузок (несущей способности) для различных параметров шпонок при передаче нагрузки вдоль волокон древесины соединяемых элементов.

Список литературы

1. Вдовин, В.М. Соединение на клееных центральных шпонках / В.М. Вдовин, А.И. Мухаев // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сб. Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2002. – 301-304 с.
2. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / ЦНИИСК имени Кучеренко Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1981.

References

1. Vdovin, V.M. The connection to the pivot vkleenyh shponkah / V.M. Vdovin, A.I. Muhaev // In Sat Efficient building design: theory and practice: international Scientific Conference. – Penza: Volga house of knowledge, 2002. – 301-304 p.
2. Recommendations for test compounds wooden structures / TsNIISK im. Kucherenko USSR State. – M.: Stroiizdat, 1981.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства
Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Бакушев Сергей Васильевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Механика»
E-mail: tim-graf_penza@rambler.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Bakushev Sergey Vasilevich,
Doktor of Science, Professor of the
Department «Mechanic»
E-mail: tim-graf_penza@rambler.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОГО ВОЛНОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА МАССИВНУЮ ПРЕГРАДУ*

С.В. Бакушев

Рассматривается постановка задачи о взаимодействии плоских одномерных волн деформаций слабого разрыва, распространяющихся в сплошной среде, описываемой геометрически и физически нелинейными математическими моделям, с массивной преградой, заглубленной в грунт. Описывается приближённый способ оценки интенсивности активного волнового давления на массивную преграду, основанный на переносе активного давления, действующего на поверхности полупространства, к массивной преграде в соответствии с волной разгрузки. Приводятся результаты решения задачи об оценке интенсивности активного волнового давления на массивную преграду, заглубленную в грунт, математическая модель которого описывается деформационной теорией пластичности сыпучей среды и её геометрически нелинейным аналогом.

Ключевые слова: волны деформаций, массивная преграда, геометрическая и физическая нелинейность.

DETERMINATION OF ACTIVE WAVE PRESSURE ON A MASSIVE BARRIER

S.V. Bakushev

The author discusses the problem of interaction of plane waves in one-dimensional deformation of low gap, propagating in a solid environment described by geometrically and physically nonlinear mathematical models with a massive barrier, embedded in the ground. He describes a method for estimating the intensity verging active wave pressure on a massive barrier based on long-range active pressure acting on the surface of the half-space, a massive hazard under wave loading. The results of evaluating the intensity of the active wave pressure on a massive barrier, embedded into the ground, its by mathematical model is described by deformation theory of granular material plasticity and geometrically nonlinear counterpart.

Keywords: wavelength deformations, massive barrier, geometric and physical nonlinearities.

Рассмотрим задачу о взаимодействии плоских упругопластических волн слабого разрыва, распространяющихся в сплошной среде, с массивной преградой, заглубленной в грунт.

Пусть на свободной поверхности полупространства действует равномерно распределённая динамическая нагрузка $P(t)$, возрастающая от нуля до максимального значения P_{\max} за промежуток времени от $t = 0$ до $t = t_0$ и убывающая для $t > t_0$. На расстоянии $x = x_0$ от свободной поверхности полупространства находится массивная преграда толщиной $h = x_1 - x_0$, не ограниченная в направлениях осей Y и Z . Ниже, под преградой, располагается подстилающий слой, бесконечно простирающийся в направлении оси X .

Будем считать, что в полупространстве волны сильного разрыва, или ударные волны, не образуются.

* Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы при разработке темы «Теоретические исследования факторов пассивного управления пространственной динамикой высотных сооружений при различных воздействиях с учётом нелинейной механики оснований».

В рассматриваемой динамической системе будут иметь место десять типов простых волн (рис. 1): волны типа 1 – волны активной деформации в полупространстве, возникающие от действия нагрузки $P(t)$; волны типа 2 – волны активной деформации в массивной преграде, возникающие от преломления волны типа 1 на границе $x = x_0$; волны типа 3 – волны активной деформации в подстилающем слое, возникающие от преломления волн типа 2 на границе $x = x_1$; волны типа 4 – волны пассивной деформации в полупространстве, возникающие от действия нагрузки $P(t)$; волны типа 5 – волны активной деформации в полупространстве, возникающие в результате отражения волн типа 1 от границы $x = x_0$; волны типа 6 – волны активной деформации в массивной преграде, возникающие в результате отражения волн типа 2 от границы $x = x_1$; волны типа 7 – волны активной деформации в полупространстве, возникающие в результате отражения волн типа 4 от границы $x = x_0$; волны типа 8 – волны пассивной деформации в массивной преграде, возникающие в результате преломления волн типа 4 на границе $x = x_0$; волны типа 9 – волны активной деформации в массивной преграде, возникающие в результате отражения волн типа 8 на границе $x = x_1$; волны типа 10 – волны пассивной деформации в подстилающем слое, возникающие в результате преломления волн типа 8 на границе $x = x_1$.

При взаимодействии волн слабого разрыва типа 1 и волн типа 4 в полупространстве образуется волна разгрузки. На фазовой плоскости $x0t$ волна разгрузки обозначена линией $t_0t_4t'_4t_3$. Следует отметить, что на участке t_4t_3 на характер и интенсивность волны разгрузки будут оказывать влияние и волны типа 5.

Взаимодействие волн типа 2 и волн типа 8 приводит к образованию волны разгрузки в массивной преграде. На фазовой плоскости $x0t$ она отмечена линией t_3t_{12} . На характер и интенсивность волны разгрузки t_3t_{12} на всём её протяжении будут оказывать влияние и волны типа 6.

Взаимодействие волн типа 3 и волн типа 10 приводит к образованию волны разгрузки в подстилающем слое. На фазовой плоскости $x0t$ эта волна разгрузки отмечена линией $t_{12}t_{15}$.

Волна разгрузки $t_0t_4t'_4t_3$, отразившись от границы $x = x_0$, начнёт распространяться в полупространстве в отрицательном направлении оси X . Волна разгрузки t_3t_{12} , отразившись от границы $x = x_1$, также будет распространяться в массивной преграде в отрицательном направлении оси X . Однако предсказать характер отражённых волн разгрузки без выполнения численных расчётов практически невозможно.

На рис. 1 сплошными тонкими линиями обозначены характеристики, определяющие границы расчётных областей; пунктирными линиями – промежуточные характеристики в расчётных областях. Следует отметить, что некоторые из характеристик являются, вообще говоря, кривыми линиями, однако в целях наглядности на рис. 1 все характеристики обозначены прямыми линиями.

В силу того что внешняя динамическая нагрузка $P(t)$ равномерно распределена по свободной поверхности, внутри полупространства с преградой будем иметь следующее распределение напряжений и деформаций:

$$\sigma_{xx} = \sigma_{xx}(x, t); \quad \sigma_{yy} = \sigma_{yy}(x, t); \quad \sigma_{zz} = \sigma_z(x, t); \quad (1)$$

$$\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{xx}(x, t); \quad \varepsilon_{yy} = 0; \quad \varepsilon_{zz} = 0. \quad (2)$$

Искривлением плоского фронта волны вследствие изгиба преграды пренебрегаем и считаем, что как отражённые от преграды, так и проходящие в преграду волны являются плоскими и одномерными. Кроме того, будем полагать, что объёмный вес материала полупространства, преграды и подстилающего слоя, а также их плотности в процессе динамических взаимодействий не меняются.

Для всех десяти типов простых волн справедливы уравнения движения:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + F_x = \rho \frac{\partial v}{\partial t}; \quad \frac{\partial \varepsilon_x}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial t}. \quad (3)$$

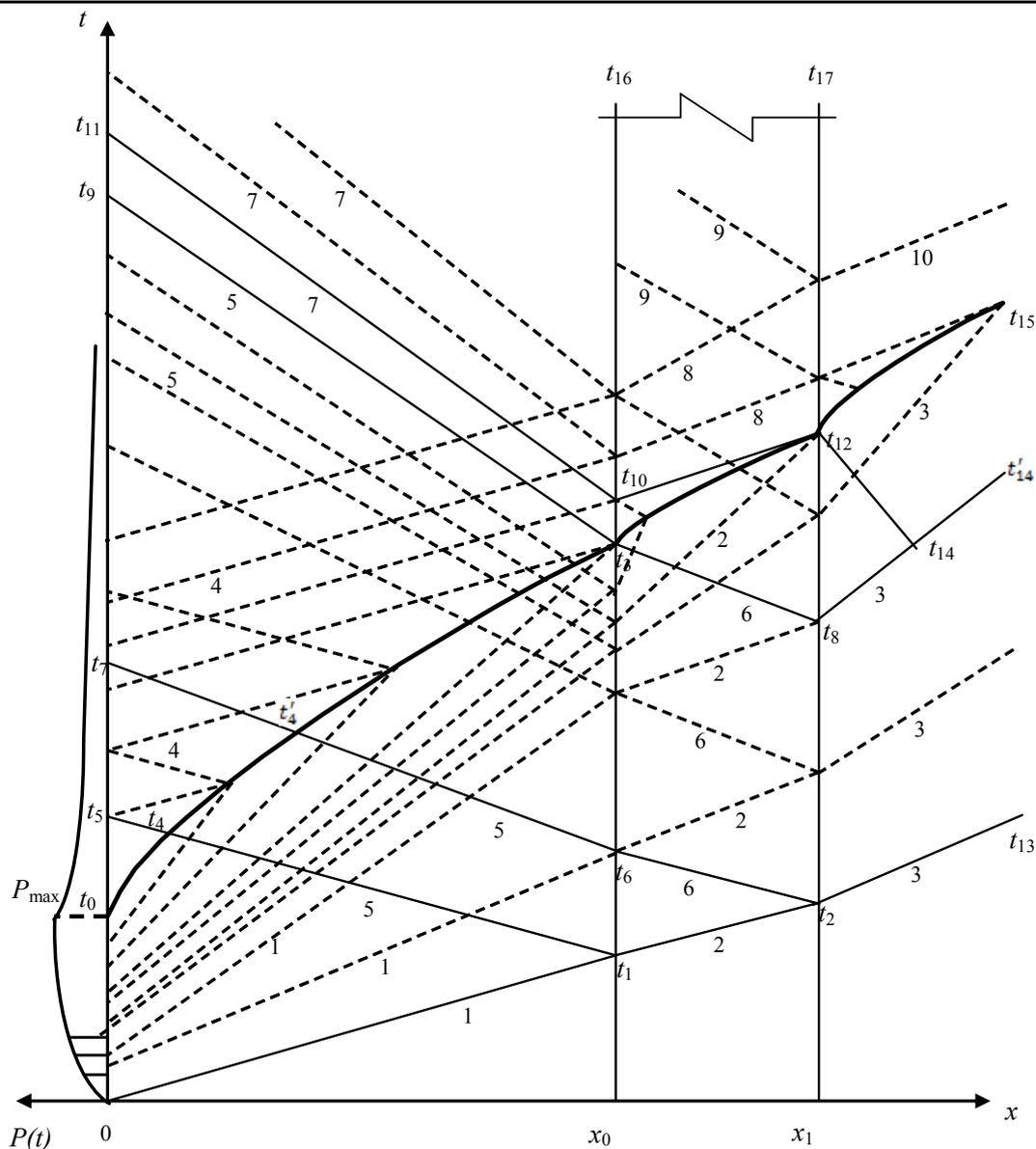


Рис. 1

Замыкающим систему (3) является уравнение состояния

$$\sigma_x = \sigma_x(\varepsilon_x), \quad (4)$$

определяемое из физических соотношений принятой модели сплошной среды при активном и пассивном деформировании:

$$\sigma = 3K(\varepsilon, \Gamma); \quad T = G(\varepsilon, \Gamma)\Gamma. \quad (5)$$

Учитывая характер распределения напряжений и деформаций внутри полупространства (1), получим условия на его свободной границе:

при $x=0$ и $t \geq 0$

$$\sigma_x = P(t). \quad (6)$$

На границе полупространства и массивной преграды выполняются условия непрерывности смещений в направлении оси X и отсутствия смещений в направлениях, перпендикулярных к этой оси:

при $x=x_0$ и $t \geq 0$

$$U^n = U^{np}, \quad V^n = V^{np} = 0, \quad W^n = W^{np} = 0. \quad (7)$$

Здесь U^n – перемещение точек полупространства, примыкающих к границе $x=x_0$, в направлении оси X ; U^{np} – перемещение точек массивной преграды, примыкающих к границе $x=x_0$, в направлении оси X ; V^n , W^n – перемещение точек полупространства, примыкающих к границе $x=x_0$, в направлениях, перпендикулярных к оси X ; V^{np} , W^{np} – перемещение точек массивной преграды, примыкающих к границе $x=x_0$, в направлениях, перпендикулярных к оси X .

Дифференцируя функции перемещений U^n и U^{np} в окрестности $x=x_0$ по координате и по времени, получим условия непрерывности для деформаций и скоростей частиц на границе $x=x_0$:

$$\epsilon_x^n = \epsilon_x^{np}, \quad v^n = v^{np}. \quad (8)$$

На границе массивной преграды и подстилающего слоя выполняются условия непрерывности смещений в направлении оси X и отсутствия смещений в направлениях, перпендикулярных к этой оси:

при $x=x_1$ и $t \geq 0$

$$U^{np} = U^{nc}, \quad V^{np} = V^{nc} = 0, \quad W^{np} = W^{nc} = 0. \quad (9)$$

Здесь U^{nc} – перемещение точек подстилающего слоя, примыкающих к границе $x=x_1$, в направлении оси X ; V^{nc} , W^{nc} – перемещение точек подстилающего слоя, примыкающих к границе $x=x_1$, в направлениях, перпендикулярных к оси X .

Дифференцируя функции перемещений U^{np} и U^{nc} в окрестности $x=x_1$ по координате и по времени, получим условия непрерывности для деформаций и скоростей частиц на границе $x=x_1$:

$$\epsilon_x^{np} = \epsilon_x^{nc}, \quad v^{np} = v^{nc}. \quad (10)$$

Сформулированные условия (7) и (9) означают отсутствие не только отрыва среды полупространства и подстилающего слоя от массивной преграды по направлению нормали к её поверхности, но и проскальзывания среды полупространства и подстилающего слоя по поверхности преграды.

Определение напряжённо-деформированного состояния массива с преградой при динамическом воздействии выполняется путём решения некоторых совокупностей дифференциальных уравнений с соответствующими граничными условиями. На фазовой плоскости $x0t$ выделяется шесть расчётных областей, в каждой из которых напряжённо-деформированное состояние описывается определённой совокупностью дифференциальных уравнений с соответствующими краевыми условиями: область $xx_1x_00t_1t_2t_3$; область $0t_1t_4t_5t_0$; область $t_5t_4t_1t_2t_6t_4t_7$; область $t_7t_4t_6t_2t_13t_14t_8t_3t_9$; область $t_9t_3t_8t_14t_12t_10t_11$; область $tt_1t_10t_12t_14t_15$. В результате совместного решения краевых задач в отмеченных шести областях определяется динамическая нагрузка на массивную преграду и строятся волны разгрузки в полупространстве, массивной преграде и подстилающем слое.

Ввиду сложности рассматриваемой задачи предлагается приближённый приём определения активного давления на массивную преграду, заглублённую в полупространство, при распространении плоских одномерных волн слабого разрыва. Толщина преграды по сравнению с толщиной полупространства до преграды должна быть незначительной, и необходим подстилающий слой бесконечной мощности.

Идея приближённого приёма состоит в переносе активного давления, действующего на поверхности полупространства, к массивной преграде в соответствии с волной разгрузки в полупространстве.

Равномерно распределённая динамическая нагрузка $P(t)$, действующая на свободной поверхности полупространства, внутри полупространства размывается. Так, если на поверхности полупространства нагрузка возрастает в течение времени t_0 , то внутри полупространства на границе $x=x_0$ нагрузка увеличивается в течение промежутка времени t_1t_3 , причём $t_0 \ll t_1t_3$ (рис. 2).

На рис. 2 волны, отражённые от преграды и проходящие в преграду, условно не показаны.

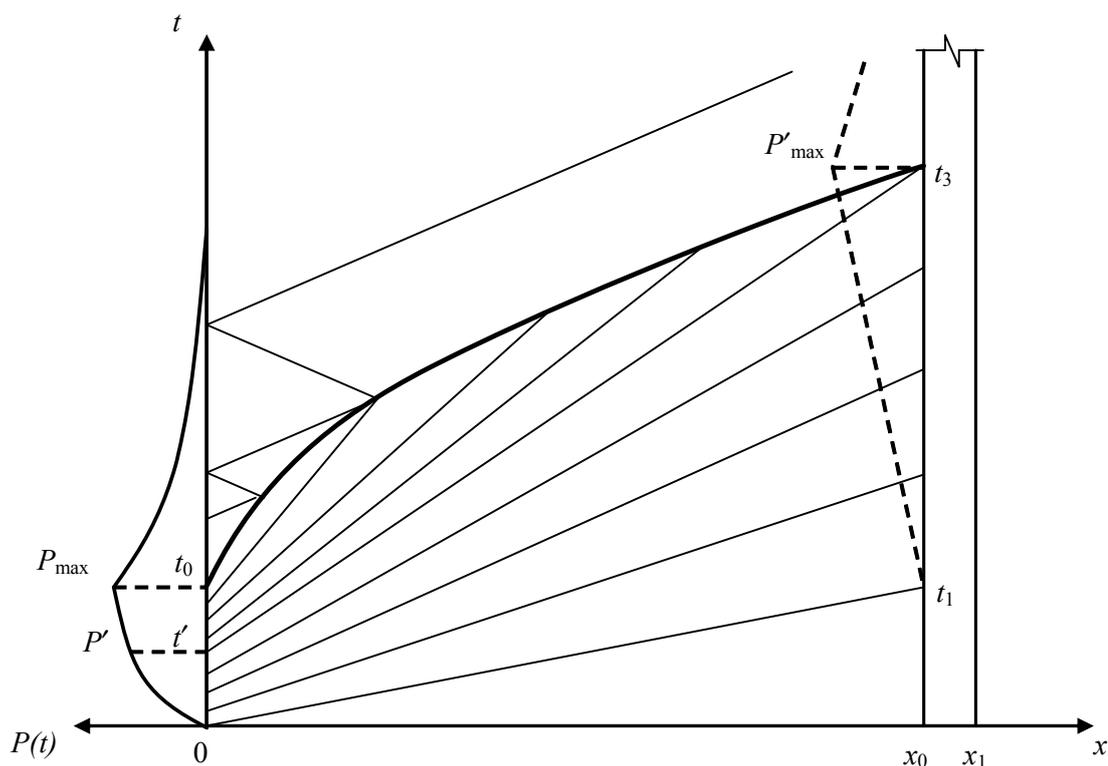


Рис. 2

Слева от оси t изображен профиль динамической нагрузки на свободной поверхности полупространства как функция времени. Слева от границы $x=x_0$ штриховой линией показан условный профиль давления на преграду также как функция времени. Функция $P(t)$ на границе $x=x_0$ аппроксимирована линейным законом. Максимальное значение давления на преграду – величина P'_{\max} – находится по значению давления P' на свободной поверхности полупространства, соответствующему моменту времени t' , определяющему волну Римана $t't_3$, которая переносит давление P' в точку встречи волны разгрузки с преградой.

Следует заметить, что в силу наличия волн, отражённых от преграды, $P'_{\max} \neq P'$.

Поскольку за преградой располагается подстилающий слой, являющийся, вообще говоря, более жёстким материалом, чем материал полупространства, но тем не менее обладающий некоторой податливостью, то можно принять следующую зависимость между величинами P'_{\max} и P' :

$$P'_{\max} = \chi P' \quad (11)$$

Здесь для преграды с подстилающим слоем коэффициент $\chi < 2$.

Следует отметить, что коэффициент χ зависит от многих факторов, в частности от механических характеристик материалов полупространства над преградой, самой преграды и подстилающего слоя; толщины преграды; расстояния преграды от свободной поверхности полупространства; плотности и объёмного веса материала полупространства, преграды и подстилающего слоя.

В качестве примера приводятся определение максимального воздействия P'_{\max} и, соответственно, построение профиля активного давления на массивную преграду, находящуюся на расстоянии 10, 20 и 30 м от свободной поверхности полупространства. В качестве математической модели, описывающей механическое поведение полупространства, использовались модель деформационной теории пластичности сыпучей среды [1] и её геометрически нелинейный аналог [2].

Исходные данные:

– приведённая плотность среды полупространства $\frac{\rho}{G_0} = 0,012 \text{ с}^2/\text{см}^2$;

– приведённый коэффициент $\frac{K_0}{G_0} = 1,1457$;

– приведённый коэффициент дилатансии $\frac{q}{G_0} = 1$;

– предельная интенсивность деформаций сдвига $\Gamma_s = 0,1155$;

– коэффициент трения $f = 0,5$.

Построение профиля воздействия на преграду выполнено для временного интервала возрастания внешней нагрузки $t_0 = 0,5 \text{ с}$ и для коэффициента $\chi = 1,5$.

Графическая иллюстрация результатов расчёта для случая геометрически линейной модели полупространства представлена на рис. 3.

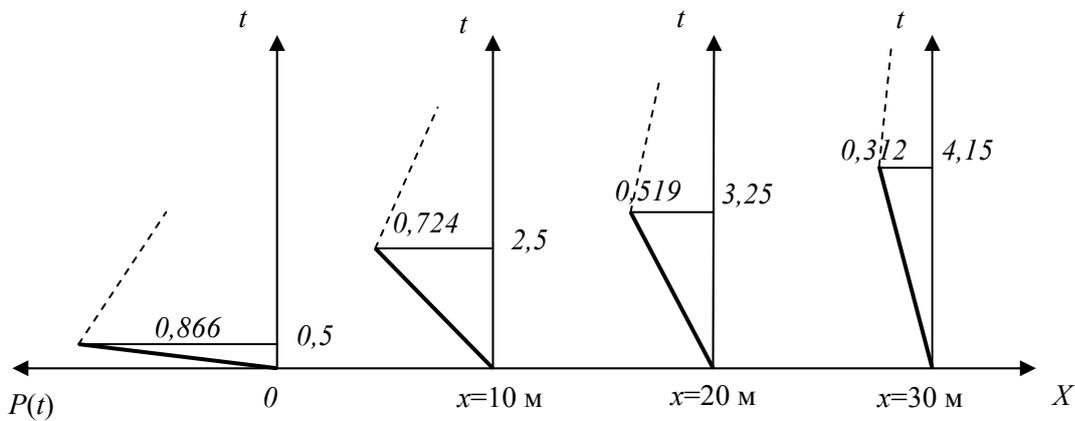


Рис. 3

На рис. 4 дана графическая иллюстрация результатов расчёта для случая геометрически нелинейной модели полупространства.

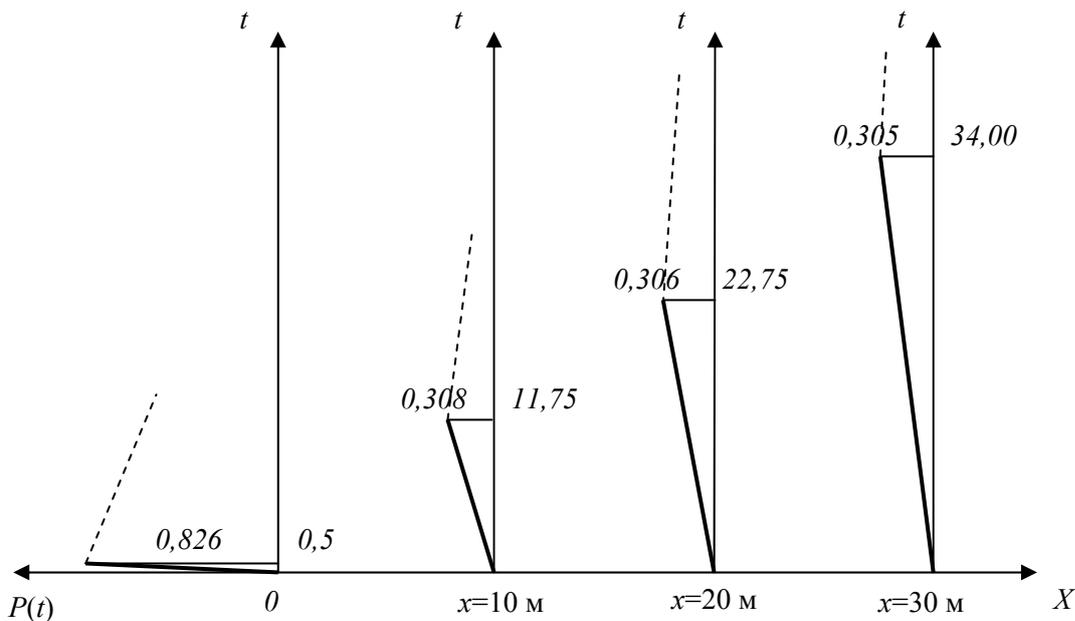


Рис. 4

Численное моделирование показывает:

1. Увеличение продолжительности динамического воздействия на свободной поверхности полупространства приводит к значительному возрастанию продолжительности воздействия на преграду, а также к уменьшению интенсивности воздействия на преграду. При этом, чем больше продолжительность динамического воздействия на свободной поверхности полупространства, тем и степень увеличения продолжительности воздействия на преграду, и степень уменьшения интенсивности воздействия на преграду меньше. Эта тенденция прослеживается и для геометрически линейной модели, и для геометрически нелинейной модели полупространства. Для полупространства, описываемого геометрически нелинейной моделью, степень увеличения продолжительности воздействия на преграду значительно больше, чем для полупространства, описываемого геометрически линейной моделью. Степень уменьшения интенсивности воздействия на преграду также больше для геометрически нелинейной модели полупространства по сравнению с геометрически линейной моделью.

2. Чем дальше располагается массивная преграда от свободной поверхности полупространства, тем воздействие на преграду меньше. Для полупространства, описываемого геометрически линейной моделью, это уменьшение воздействия проявляется в большей степени, чем для полупространства, описываемого геометрически нелинейной моделью.

3. Чем больше продолжительность динамического воздействия на свободной поверхности полупространства, тем затухание воздействия на преграду с увеличением расстояния от неё до свободной поверхности полупространства меньше.

Результаты, приведенные в статье, могут найти применение при оценке динамического волнового воздействия на массивную преграду, заглубленную в грунт.

Список литературы

1. Гениев, Г.А. К вопросу о деформационной теории пластичности сыпучей среды / Г.А. Гениев // Строительная механика и расчёт сооружений. – 1974. – №4. – С.8–10.

2. Бакушев, С.В. Вариант построения расчётных моделей геометрически-нелинейных сплошных сред / С.В. Бакушев // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. – 1991. – №9. – С.24–29.

References

1. Geniev, G.A. The deformation theory of granular material plasticity / G.A. Geniev // Construction mechanics and calculation of structures. – 1974. – №4. – P.8–10.

2. Bakushev, S.V. The building of version-nonlinear geometrical models of calculation of continuous environment / S.V. Bakushev // News of institutions of Higher Education. Building and architecture. – 1991. – №9. – P.24–29.

Пензенский филиал Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства

Россия, 440026, г. Пенза, ул. Красная/Чкалова, 38 /53, тел./факс: (8412) 56-37-97

Михайлов Петр Григорьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Управление информационными ресурсами», научный сотрудник ЗАО «НИИФИ и ВТ»
E-mail: p1otr110mpg@mail.ru

Пензенская государственная технологическая академия

Россия, 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11
тел.: 8 (8412) 49-54-41

Соколов Александр Владимирович, аспирант
E-mail: sokolov_av_avto@mail.ru

Penza branch of the Russian State University of Innovative Technologies and Entrepreneurship

Russia, 440026, Penza, 38/53, Krasnaya/Chkalova St., tel. / fax: (8412) 56-37-97

Mikhailov Petr Grigor'evich, Doctor of Science, Professor of the department «Information Resources Management», researcher CJSC «NIIFI and VT»
E-mail: p1otr110mpg@mail.ru

Penza State Technological Academy

Russia, 440039, Penza, 1a/11, pr.Baydukova/Gagarina St., tel.: 8 (8412) 49-54-41

Sokolov Alexandr Vladimirovich, Postgraduate
E-mail: sokolov_av_avto@mail.ru

СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЕМКОСТНЫХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДАТЧИКОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

П.Г. Михайлов, А.В. Соколов

Представлены результаты синтеза и анализа математических моделей емкостных чувствительных элементов, используемых в датчиках, предназначенных для контроля и диагностики состояния строительных конструкций. Приведены расчетные формулы и выражения, которые позволяют оптимизировать конструктивные характеристики датчиков и минимизации погрешности преобразования. Рассмотрены базовые конструкции чувствительных элементов.

Ключевые слова: датчик, емкость, ЕЧЭ, модуляция, измерения, физико-математическая модель, мониторинг, чувствительный элемент, зазор, диэлектрик, погрешность, деформация.

SYNTHESIS AND ANALYSIS OF PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELS OF CAPACITIVESENSING ELEMENTS OF SENSORS USED IN MONITORING SYSTEMS OF BUILDING STRUCTURES

P.G. Mikhailov, A.V. Sokolov

The article deals with the synthesis and analysis of mathematical models of capacitive sensing elements used in sensors designed for monitoring and diagnostics of building structures. The formulas and expressions, which allow to optimize the design characteristics of the sensors and to minimize the error of conversion are given. The basic designs of sensing elements are described.

Keywords: sensor, capacity, ECHE, modulation, measurements, physical and mathematical model, monitoring, the sensing element, gap, insulator, accuracy, deformation.

Введение

В связи с ухудшающейся экологической обстановкой и наличием во многих регионах сейсмоопасных зон происходит интенсификация деграционных процессов в строительных конструкциях, зданиях и сооружениях, сопровождающихся трещинообразованием, изменением структуры и прочностных свойств строительных материалов, протеканием негативных химических реакций, снижением прочности металлической арматуры и т.д., что может привести (и приводит) к авариям и разрушениям с материальными и людскими потерями [1]. При этом, как правило, деграционные процессы визуально слабо проявляются, поэтому периодические внешние осмотры состояния зданий (без использования аппаратуры), осуществляемые службами и персоналом (смотритель зданий), являются малоинформативными и зачастую бесполезными.

В связи с этим чрезвычайно важным является разработка систем мониторинга состояния строительных объектов (строительный мониторинг) в процессе их жизненного цикла [2].

Строительный мониторинг устанавливает и изучает признаки, свидетельствующие о наличии дефектов в конструкциях, определяет их техническое состояние. Цель диагностики конструкций – поддержание установленного уровня их надежности, обеспечение требуемой безопасности и эффективности эксплуатации зданий. Диагностирование в процессе эксплуатации осуществляется при рабочих воздействиях либо при внешнем осмотре конструкций либо при помощи диагностической аппаратуры, дающей возможность измерять или контролировать нужный параметр с заданной точностью.

Следует отметить, что в системах мониторинга наиболее значимыми элементами являются датчики, используемые для измерения механических напряжений и деформаций, например, осадки и прочности грунтов, прочности железобетонных конструкций, напряжения в плотинах, вибрационных и ударных процессов и т.д.

Отличительной чертой строительного мониторинга является его значительная протяженность во времени, в связи с чем к средствам измерения предъявляются особые требования по временной стабильности их метрологических характеристик [3].

1. Модели емкостных чувствительных элементов

Для обеспечения временной стабильности наиболее предпочтительными являются емкостные датчики, в которых основными элементами, в наибольшей степени определяющими метрологические характеристики всего датчика, являются емкостные чувствительные элементы (ЕЧЭ), поэтому проведем синтез и анализ именно их моделей [4, 5].

Для упрощения процедуры расчета рассмотрим свойства ЕЧЭ проведем на конструктивной модели плоскопараллельного конденсатора с площадью пластин S , разделенных диэлектриком толщиной h с диэлектрической проницаемостью ϵ . Для такой упрощенной модели, без учета краевого эффекта емкость равна:

$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{h}. \quad (1)$$

Изменение ϵ , S и h приводит к изменению емкости C , при этом для малых приращений

$$dC = \frac{\partial C}{\partial \epsilon} d\epsilon + \frac{\partial C}{\partial S} dS + \frac{\partial C}{\partial h} dh, \quad (2)$$

или для конечных приращений

$$\Delta C = \frac{\epsilon_0 S_0}{h_0} \Delta \epsilon + \frac{\epsilon_0}{h_0} \Delta S - \frac{\epsilon_0 S_0}{(h_0 + \Delta h)^2} \Delta h. \quad (3)$$

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta \epsilon}{\epsilon_n} + \frac{\Delta S}{S_0} - \frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta h}{h_0}\right)^2} \cdot \frac{\Delta h}{h_0}, \quad (4)$$

где C_0 , ϵ_n , S_0 , h_0 – начальные значения соответственно емкости, диэлектрической проницаемости, площади пластин и расстояния между ними.

Согласно (4), коэффициенты чувствительности емкости C к изменению ε ($K_{C/\varepsilon}$) и к изменению S ($K_{C/S}$) равны 1, а чувствительность к изменению h равна:

$$K_{C/h} = -\frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta h}{h_0}\right)^2}. \quad (5)$$

Таким образом, можно сделать вывод, что относительное изменение емкости является линейной функцией изменения ε и S и нелинейной функцией изменения h .

Для получения линейной функции преобразования датчика с ЕЧЭ необходимо получить с помощью измерительной электрической цепи линейную функцию преобразования емкости, если входной величиной ЕЧЭ является изменение S или ε , и гиперболическую функцию, если входной величиной является изменение h .

Следует отметить, что при эксплуатации датчиков, независимо от типа и принципа действия, на них действуют разнообразные факторы, обусловленные влиянием внешней среды, из которых основным значащим влияющим фактором является температура. Так, температура действует на геометрические размеры ЕЧЭ, изменяя их.

Оценим изменение геометрических размеров емкостного ЧЭ под действием температуры [6]. При этом предположим, что конфигурация электродов прямоугольная со сторонами a_0 и b_0 , а величина диэлектрической проницаемости постоянная ($\varepsilon = \text{const} = 1$). Тогда известная формула для плоского конденсатора (1) может быть преобразована:

$$C_0 = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{a_0 b_0}{h_0}. \quad (6)$$

Приращения геометрических размеров a_0 , b_0 , h_0 при изменении температуры на ΔT , можно представить в виде линейных выражений:

$$\begin{aligned} \Delta a &= a_0 \alpha \Delta T, \\ \Delta b &= b_0 \alpha \Delta T, \\ \Delta h &= t_0 \alpha \Delta T, \\ \Delta S &= \Delta a b_0 + \Delta b a_0 + \Delta a \Delta b, \end{aligned} \quad (7)$$

где α – температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) материала электродов, $^{\circ}\text{C}^{-1}$; ΔT – изменение температуры, K ; t_0 – толщина электродов, м.

Относительное изменение емкости под действием температуры ΔT для ЕЧЭ с переменным зазором равно:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta S}{S} + \frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta h}{h_0}\right)^2} \cdot \frac{\Delta h}{h_0} = \frac{\Delta a}{a_0} + \frac{\Delta b}{b_0} - \frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta h}{h_0}\right)^2} \cdot \frac{\Delta h}{h_0} = 2\alpha \Delta T - \frac{\alpha \Delta T}{(1 + \alpha \Delta T)^2} \quad (8)$$

На практике для всех материалов $\alpha \Delta T \ll 1$, поэтому:

$$\frac{\Delta C}{C} = \alpha \Delta T. \quad (9)$$

Учитывая, что α для различных материалов [7], которые могут быть использованы для изготовления электродов, колеблется в пределах от $4,4 \cdot 10^{-6}$ (вольфрам) до $24 \cdot 10^{-6}$ (алюминий), можно ориентироваться на следующие значения температурной погрешности $\sigma_C = \frac{\Delta C}{C}$ в температурном диапазоне ΔT (см. таблицу):

Значения температурной погрешности ЕЧЭ для различных материалов и температур $\alpha=16 \cdot 10^{-6}$

$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$\sigma_C, \%$			
	Алюминий $\alpha = 24 \cdot 10^{-6}$	Медь $\alpha = 16 \cdot 10^{-6}$	Титан $\alpha = 8 \cdot 10^{-6}$	Вольфрам $\alpha = 4,4 \cdot 10^{-6}$
0...50	0,12	0,08	0,04	0,02
0...100	0,24	0,16	0,08	0,04
0...200	0,48	0,32	0,16	0,08

Таким образом, влияние изменения геометрических размеров под действием температуры в температурном диапазоне от 0 до 200 °С может быть для существующих материалов оценено погрешностями в диапазоне $\pm(0,5 \div 0,1) \%$. Эти значения для современных датчиков довольно высоки, поэтому необходимы методы, позволяющие снизить указанную составляющую общей погрешности.

2. Разработка конструктивно-числовых моделей, учитывающих температурные погрешности преобразования

Для вывода уравнений, связывающих линейные размеры ЕЧЭ с их температурными погрешностями, рассмотрим упрощенную геометрическую модель реального ЕЧЭ, которая приведена на рис. 1 [6].

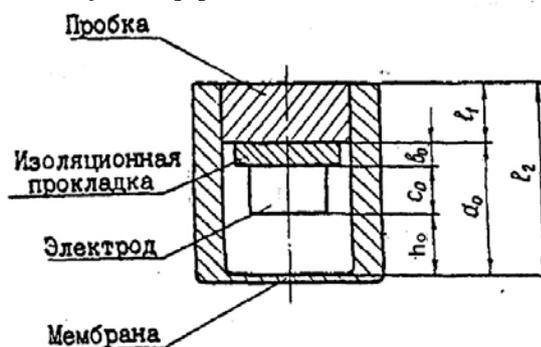


Рис. 1. Геометрическая модель ЕЧЭ:

h_0 – зазор между электродом и мембраной; b_0 – толщина изоляции; c_0 – толщина электрода

Для этой модели условие температурной компенсации имеет вид [7]:

$$a_0 \alpha_a - b_0 \alpha_b - c_0 \alpha_c = 0, \quad (10)$$

где $\alpha_a, \alpha_b, \alpha_c$ – соответствующие ТКЛР конструктивных элементов.

Размеры l_1 и l_2 не вошли в выражение (10), хотя фактические паразитные изменения зазора между электродами ЕЧЭ определяются, в основном, изменением размеров l_1 и l_2 , поскольку они много больше размеров a_0, b_0, c_0 , поэтому модель (10) некорректна. С учетом размеров l_1 и l_2 условие термокомпенсации будет иметь вид

$$l_2 \alpha_{l_2} - l_1 \alpha_{l_1} - b_0 \alpha_b - c_0 \alpha_c = 0. \quad (11)$$

Используя выражение (11), найдем приращение величины зазора Δh (см. рис. 1) при изменении температуры на 1°С. Примем $\alpha_{l_1} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, $\alpha_{l_2} = 9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, $l_1 = 9,95 \text{ мм}$, $l_2 = 10 \text{ мм}$, $b_0 = 0,003 \text{ мм}$, $c_0 = 0,0005 \text{ мм}$. Тогда $h_0 \sim 0,046 \text{ мм}$. Размеры b_0 и c_0 гораздо меньше остальных размеров, и ими при приближенном расчете можно пренебречь. Тогда $\Delta h \cong l_2 \alpha_{l_2} - l_1 \alpha_{l_1} \cong 0,01 \text{ мкм}$.

Погрешность, обусловленная изменением температуры на 1°С, при условии, что изменение зазора $W \cong h_0$ будет равна:

$$\sigma_t = \frac{\Delta h}{W} \cdot 100\% \approx \frac{0,01}{46} \cdot 100\% \approx 0,02\% / ^\circ\text{C}.$$

Проведем анализ полученных числовых значений и рассмотрим возможности оптимизации расчетных моделей.

Если $W = 0,1h_0$, то $\sigma_t = 0,2\%/^{\circ}\text{C}$. Отсюда следует, что даже применение конструкционных материалов с ТКЛР на порядок меньшими, чем принято для металлов, не позволяет обеспечить высокую термостабильность. Для уменьшения температурной погрешности, согласно (11), необходимо добиться равенства: $\alpha_{l1} = \alpha_{l2}$, $l_1 = l_2$, $l_2 = h_0 + c_0 + b_0$ и чтобы $W \rightarrow h_0$.

Реализовать равенство $\alpha_{l1} = \alpha_{l2}$ возможно только специальным отбором материала, что затруднено при производстве. Кроме того, этот метод применим только для постоянных температур.

Добиться равенства величин размерных цепей $l_1 = l_2$ нельзя по конструктивным соображениям, но возможна минимизация их разницы, при этом пропорционально уменьшаются не только температурная, но и другие составляющие погрешности. Еще более предпочтителен вариант, когда $l_1 = 0$, а $l_2 = h_0 + c_0 + b_0$, а это предполагает использование планарной тонкопленочной конструкцией ЕЧЭ, для которой модель (11) не содержит l_1 , а также $l_1 + l_2$ может быть уменьшена до значения, близкого к W .

На основании изложенного основное условие обеспечения малой погрешности преобразования ЕЧЭ, в том числе ее температурной составляющей можно выразить в виде $(l_1 + l_2) \leftrightarrow W$, что равнозначно $\frac{W}{l_2 + l_1} \rightarrow 1$ (условие планарности), где $(l_1 + l_2)$ – сумма двух размерных цепей конструктивных элементов ЕЧЭ, образующих зазор между электродами.

Следует отметить, что выполнение условия $W \rightarrow h_0 \left(\frac{W}{h_0} \rightarrow 1 \right)$ предполагает

наличие больших деформаций упругого элемента ЕЧЭ и, как следствие, возрастание нелинейности функции преобразования, особенно при высоких температурах [8].

3. Модели емкостных дифференциальных чувствительных элементов

Известно, что в целях достижения высокой линейности и точности функция преобразования ЕЧЭ перемещения в виде дифференциального плоскопараллельного конденсатора (рис. 2,а) должна представляться следующим выражением [5, 10]:

$$y = k \cdot \left(\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} \right), \quad (12)$$

где k – коэффициент пропорциональности ($k = \text{const}$); C_1, C_2 – емкости конденсаторов.

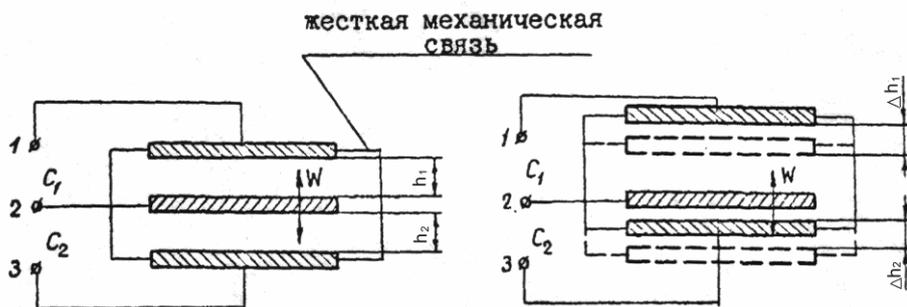


Рис. 2. Модель дифференциально-емкостного преобразователя перемещения:
а – исходное состояние; б – с паразитным смещением электродов

Проанализируем модель дифференциального ЕЧЭ с позиций возможности минимизации его аддитивной погрешности.

Емкости плоских конденсаторов C_1 , и C_2 дифференциального ЕЧЭ (см. рис. 2,а) равны:

$$C_1 = \frac{\varepsilon_1 S_1}{h_1}, \quad (13)$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon_2 S_2}{h_2}, \quad (14)$$

где S_1 , S_2 – эффективные площади электродов конденсаторов; ε_1 , ε_2 – диэлектрические проницаемости межэлектродной среды; h_1 , h_2 – расстояния между электродами конденсаторов.

Подставив в (12) выражения (13) и (14), при условии $S_1 = S_2$ и $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$, функцию преобразования (12) можно выразить в более удобном для дальнейшего анализа виде:

$$y = k \cdot \left(\frac{h_2 - h_1}{h_1 + h_2} \right). \quad (15)$$

С учетом величины смещения электродов на Δh , функцию преобразования (15) можно представить в виде

$$y = k \cdot \frac{(h_2 - \Delta h) - (h_1 + \Delta h)}{(h_2 - \Delta h) + (h_1 + \Delta h)} = \left(y = k \cdot \frac{2\Delta h}{h_2 + h_1} \right). \quad (16)$$

Принимая во внимание, что в исходном состоянии выполнено условие $h_1 = h_2 = h$, получим приращение функции (16) в виде:

$$|\Delta y| = k \cdot \frac{\Delta h}{h}. \quad (17)$$

Из выражения (17) следует, что любое относительное паразитное смещение Δh электродов 1, 3 и 2 дифференциального ЕЧЭ неизбежно вызовет появление аддитивной составляющей общей погрешности преобразования, пропорциональной величине этого смещения. Это обстоятельство указывает на нерациональность проектирования прецизионных ЕДД на основе дифференциальных ЕЧЭ.

Для устранения указанных недостатков предлагается преобразовать конструктивную модель (см. рис. 2) путем введения жесткого центра (рис. 3). Такая конструкция является квазидифференциальной, в ней имеются два конденсатора: один рабочий C_x , а другой – опорный C_0 . При этом опорная емкость вместе с измерительным конденсатором объединяются в емкостную цепь, подключаемую к высокочувствительному операционному усилителю (измерительная электронная цепь – ИЭЦ), и вместе реализуют функцию преобразования отношения емкостей:

$$y = k \cdot \frac{C_0}{C_x}. \quad (18)$$

Аналогично, как и у ЕЧЭ (см. рис. 2) рассмотрим влияние паразитного смещения Δh нерабочего общего электрода 1 квазидифференциального ЕЧЭ (см. рис. 3,б) на погрешность преобразования.

Подставив величины C_0 и C_x , выраженные через значения соответствующих им зазоров h_0 и h_x , в выражение (18), получим передаточную функцию в виде

$$y = k \cdot \frac{h_x}{h_0} \quad (19)$$

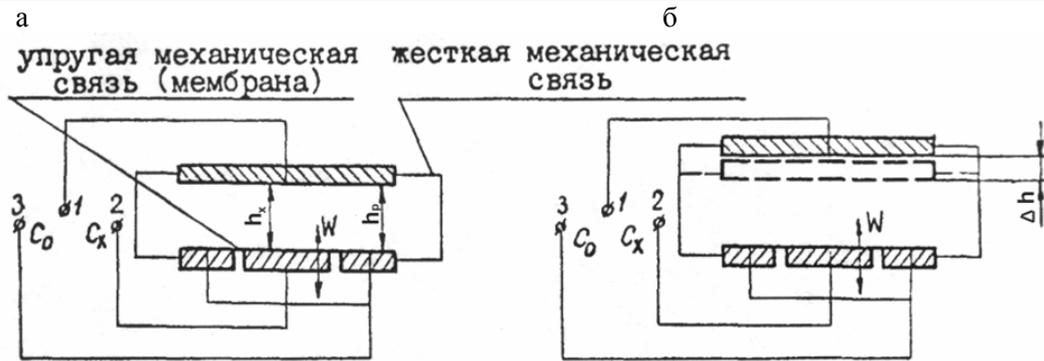


Рис. 3. Конструктивная модель квазидифференциального ЕЧЭ с упругим элементом в виде мембраны с жестким центром в исходном состоянии (а) и с паразитным смещением общего электрода (б):
1, 2 – круговые электроды, 3 – кольцевой электрод

С учетом смещения электрода 1 на величину Δh , функция преобразования (19) будет иметь вид:

$$y = k \cdot \frac{h_x + \Delta h}{h_0 + \Delta h} = y \left(\frac{1 + \frac{\Delta h}{h_x}}{1 + \frac{\Delta h}{h_0}} \right). \quad (20)$$

При $h_0 = h_x$, что на практике довольно просто реализуется, смещение электрода 1 на Δh не повлечет за собой приращения функции $y = k \cdot \frac{h_x}{h_0}$.

Отсюда следует, что аддитивная погрешность квазидифференциального ЕЧЭ в сочетании с ИЭЦ, реализующей преобразование отношения емкостей, теоретически близка к нулю. Это обстоятельство является исключительно важным, поскольку методы снижения аддитивной погрешности в преобразователях давлений наиболее сложны.

Заключение

1. На основании проведенного анализа моделей ЕЧЭ, можно сделать вывод, что квазидифференциальные ЕЧЭ являются параметрически более стабильными.
2. В конструкциях дифференциальных ЕЧЭ может наблюдаться повышенная нелинейность функции преобразования из-за невозможности получения идентичных гиперболических функций обеих частей ЕЧЭ.
3. При небольших прогибах упругих элементов емкостных датчиков, осуществляющих мониторинг уровня остаточных и наведенных механических напряжений, такие датчики, в отличие от тензометрических, будут иметь высокую точность и эксплуатационную надежность.

Список литературы

1. Кудзис, А.П. Железобетонные и каменные конструкции / А.П. Кудзис. – М.: Высшая школа, 1988.
2. Долидзе, Д.Е. Испытание конструкций и сооружений / Д.Е. Долидзе. – М., Высшая школа, 1975.
3. Таракановский, В.К. Обзор современных средств мониторинга состояния конструкций и грунтов оснований высотных зданий / В.К. Таракановский // Предотвращение аварий зданий и сооружений. – Режим доступа: www.pamag.ru.
4. Джексон, Р.Г. Новейшие датчики: справочник / Р.Г. Джексон. – М.: Техносфера, 2007.
5. Аш, Ж. Датчики измерительных систем / Ж. Аш. – М.: Мир, 1992. – Кн. 2.

6. Проектирование датчиков для измерения механических величин / под ред. Е.П. Осадчего. – М.: Машиностроение, 1979.
7. Лебедев, Д.В. Емкостные датчики абсолютных давлений / Д.В. Лебедев // Приборы и системы управления. – 1990 – №10 – С. 6–8.
8. Михайлов, П.Г. Высокотемпературные функциональные материалы для датчиков физических величин / П.Г. Михайлов, А.В. Соколов, Д.А. Сергеев // Инновационные технологии в машиностроительном комплексе: материалы трудов МНТК. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. – С. 282–283.
9. Метрологическое обеспечение процесса производства датчиков давления / П.Г. Михайлов, А.В. Соколов, Д.А. Сергеев, М.А. Чернецов // Современные информационные технологии: труды МНТК. Вып. 14.– Пенза: ПГТА, 2011. – С. 204-209.
10. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений / Г.Г. Раннев, А.П. Тарасенко. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.

References

1. Kudzis, A.P. Concrete and brick structures / A.P. Kudzis. – M.: High School, 1988.
2. Dolidze, D.E. Test structures and facilities / D.E. Dolidze. – M.: High School, 1975.
3. Tarakanovsky, V.K. Overview of modern design and monitoring of the soilbase of tall buildings / V.K. Tarakanovsky // Science and Security. Electronic Journal. Prevention of accidents buildings. – www.pama.
4. Jackson, R.G. The latest sensors: directory / R.G. Jackson. – M.: Technosphere, 2007.
5. Ash, J. Sensors measuring systems / J. Ash. – M.: Mir, 1992. – Book. 2.
6. Design of sensors for the measurement of mechanical quantities / ed. E.P. Osadchy. M.: Mashinostroenie, 1979.
7. Lebedev, D.V. Capacitive sensors are absolute pressure / D.V. Lebedev // Instruments and Control Systems. – 1990 – № 10 – P. 6–8.
8. Mikhailov, P.G. High-functional materials for sensors of physical quantities / P.G. Mikhailov, A.V. Sokolov, D.A. Sergeev // Innovative technologies in machine-building complex: Proceedings of the Proceedings IRTC. – Penza: PSU, 2012. – P. 282–283.
9. Metrological support of manufacturing pressure sensors / P.G. Mikhailov, A.V. Sokolov, D.A. Sergeev, M.A. Chernetsov // Advanced Information Technologies: Proceedings of the IRTC. Issue 14. – Penza: PGTA, 2011. – P. 204–209.
10. Rannev, G.G. Methods and tools for measuring / G.G. Rannev, A.P. Tarasenko. – M.: Publishing center «Academy», 2004.

Пензенский филиал Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства

Россия, 440026, г. Пенза, ул. Красная/Чкалова, 38 /53, тел./факс: (8412) 56-37-97

Михайлов Петр Григорьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Управление информационными ресурсами», научный сотрудник ЗАО «НИИФИ и ВТ»
E-mail: p1otr110mpg@mail.ru

Пензенская государственная технологическая академия

Россия, 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11
тел.: 8 (8412) 49-54-41

Соколов Александр Владимирович, аспирант
E-mail: sokolov_av_avto@mail.ru

Penza branch of the Russian State University of Innovative Technologies and Entrepreneurship

Russia, 440026, Penza, 38/53, Krasnaya/Chkalova St., tel. / fax: (8412) 56-37-97

Mikhailov Petr Grigor'evich, Doctor of Science, Professor of the department «Information Resources Management», researcher CJSC «NIIFI and VT»
E-mail: p1otr110mpg@mail.ru
Penza State Technological Academy

Russia, 440039, Penza, 1a/11, pr/Baydukova/Gagarina St., tel.: 8 (8412) 49-54-41

Sokolov Alexandr Vladimirovich, Postgraduate
E-mail: sokolov_av_avto@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДАТЧИКОВ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

П.Г. Михайлов, А.В. Соколов

Представлены результаты синтеза и анализа математических моделей чувствительных элементов, используемых при разработке датчиков, предназначенных для контроля механических напряжений, возникающих в различных строительных конструкциях и средах. Приведены расчетные формулы и рекомендации, позволяющие оптимизировать конструктивные характеристики датчиков, исходя из критериев информационно-энергетической эффективности.

Ключевые слова: датчик, измерения, математическая модель, нагрузка, чувствительный элемент, тензорезистор, мостовая схема, деформация, растяжение, изгиб.

SIMULATION OF SENSITIVE SENSORS OF MECHANICAL STRESS IN STRUCTURES

P.G. Mikhailov, A.V. Sokolov

The article deals with synthesis and analysis of mathematical models of sensors used in the development of sensors designed for monitoring the mechanical stresses arising in a variety of building structures and environments. The formulas and recommendations to optimize the structural characteristics of sensors based on the criteria of information and energy efficiency are presented.

Keywords: sensor, measurements, mathematical model, load, sensing element, strain gauges, bridge circuit, deformation, stretch, fold.

Введение

При подготовке площадки, а также в процессе строительства и эксплуатации современных многоэтажных зданий, мостов, автомобильных дорог и проч. необходимо проводить измерение и контроль различных параметров, напрямую или косвенно связанных с измерением механических напряжений и деформаций, например: осадку и прочность грунтов, прочность железобетонных конструкций, напряжения в плотинах и дорожном полотне и т.д. Динамика и величина указанных параметров самая различная, начиная от статических (постоянная нагрузка на грунт) и заканчивая динамическими

(землетрясения, взрывы), при этом величина нагрузок может составлять от долей МПа (нагрузка на почву от надувных ангаров) до десятков и сотен тысяч МПа (давление на грунт от высотных зданий и сооружений). Так как от прочности системы «сооружение – грунт» зависят не только потребительские ценности, но и человеческие жизни, то необходимо поведение этой системы отслеживать в течение всего жизненного цикла сооружения, используя самую разнообразную измерительную аппаратуру [1].

Диагностика и мониторинг строительных конструкций позволяют выявлять по результатам измерения деформаций места критических напряжений и угрозу трещинообразования, т.е. не только оценивать, но и прогнозировать техническое состояние конструкций. Спецификой процесса мониторинга деформаций в строительных объектах является их значительная длительность во времени, поэтому к средствам измерения предъявляются особые требования по временной стабильности их метрологических характеристик [2].

Физически процесс измерения давления грунтов или механических напряжений в строительных конструкциях осуществляется путем передачи механического воздействия на упругий элемент датчика, в котором возникают механические напряжения, вызывающие, в свою очередь, механические деформации (растяжение, сжатие, сдвиг, изгиб) чувствительного элемента, изменяя его электрофизические характеристики, например, сопротивление, емкость, частоту колебаний и проч. [3].

Таким образом, неэлектрические величины: давление грунта, напряжения в строительных конструкциях, усилия в арматуре и проч. измеряются косвенно, путем преобразования их в промежуточные величины, а выходной величиной преобразования является электрическая величина.

Следует отметить, что среди датчиков силовых параметров наибольшее применение имеют датчики, основанные на тензорезистивном принципе преобразования, ввиду их высокой точности и стабильности в процессе эксплуатации [4, 5]. Диапазон измерения этих датчиков необычайно широк – имеются датчики на номинальные силы от 10 Н до более чем 10 МН. Решающим фактором, однако, является обеспечиваемая ими высокая точность измерения. В зависимости от затрат, уровня техники и производственных возможностей погрешность может быть снижена до величины, меньшей 0,03 % и даже 0,01 %.

1. Структурные схемы тензорезисторных датчиков

Обобщенные структурные схемы тензорезисторных датчиков механических усилий представлены на рис. 1, 2.

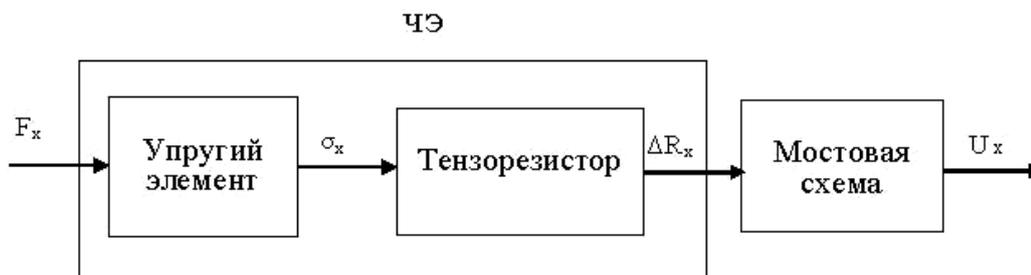


Рис. 1. Структурная схема тензорезисторного преобразователя механических усилий

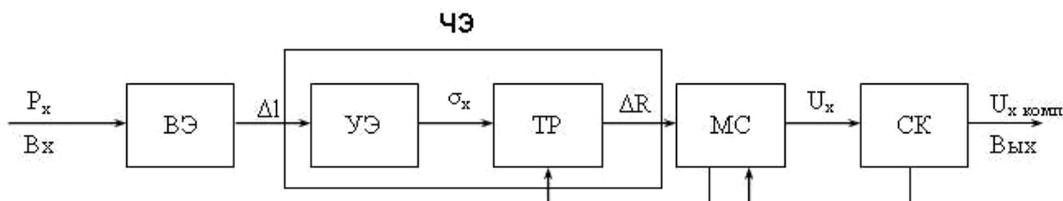


Рис. 2. Структурная схема тензорезисторного преобразователя механического давления с элементами компенсации влияния температурной нестабильности:

ВЭ – воспринимающий элемент; УЭ – упругий элемент; ЧЭ – чувствительный элемент; ТР – тензорезистор; МС – мостовая схема; СК – схема температурной компенсации

Кратко поясним назначение отдельных звеньев преобразователя механических усилий. Воспринимающий элемент (ВЭ) передает измеряемое усилие на упругий элемент (УЭ) путем перемещения или изменения положения в пространстве. УЭ преобразует перемещение ВЭ в механическое напряжение. ВЭ и УЭ могут быть выполнены в виде единой или нескольких различных механических деталей типа мембраны, балки, стержня, пружины и др. Преобразователем механического напряжения в электрическую величину (изменение сопротивления) является тензорезистор (ТР), который закреплен на УЭ. ТР электрически объединены в мостовую схему (МС), которая преобразует изменение сопротивления ТР в пропорциональное этому изменению выходное напряжение. Компенсация влияния изменяющейся температуры на электрофизические характеристики ТР происходит путем включения в электрическую схему датчика элементов настройки и термокомпенсации (СК) с постоянными термозависимыми резисторами. Конструктивно и функционально объединенные УЭ и ТР образуют чувствительный элемент (ЧЭ).

Математические модели преобразования, соответствующие вышеприведенным структурным схемам, можно записать в виде

$$F_x \rightarrow \sigma_x \rightarrow \Delta R_x \rightarrow U_{\text{вых}}, \quad (1)$$

$$P_x \rightarrow \Delta l_x \rightarrow \sigma_x \rightarrow \Delta R_x \rightarrow U_x \rightarrow U_{x \text{ комп}}, \quad (2)$$

где F_x и P_x – измеряемое усилие и давление, соответственно (входные неэлектрические величины); σ_x и Δl_x – соответственно механическое напряжение и деформация (промежуточные неэлектрические величины); ΔR_x – изменение сопротивления тензорезистора в результате деформации (промежуточная электрическая величина); U_x , $U_{x \text{ комп}}$ – соответственно напряжения на выходе мостовой и компенсационной схем (выходные электрические величины).

2. Тензорезистивный эффект и передаточная характеристика тензорезистора

В качестве ТР для испытания строительных конструкций наиболее часто используются проволочные (рис. 3) или фольговые (рис. 4) резисторы.

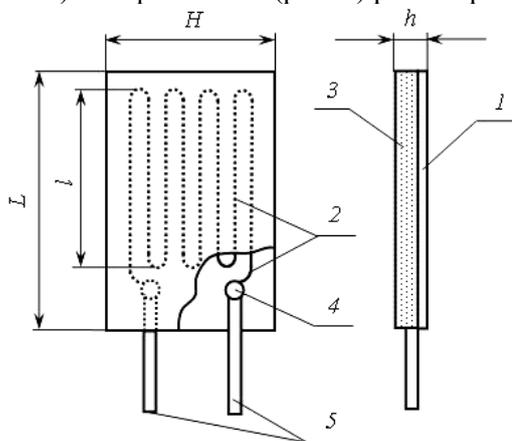


Рис. 3. Конструкция проволочного тензорезистора:

- 1 – основа (бумага или пленка); 2 – проволочная нить чувствительной тензорешетки;
3 – слой клея; 4 – место пайки или сварки; 5 – выводные проводники; L , H и h – длина, ширина и толщина элемента, соответственно; l – измерительная база

Из перечисленных ТР наиболее технологичными, с точки зрения изготовления и установки, являются фольговые ТР (рис. 4), так как их можно наклеивать на криволинейные поверхности трубчатых и сферических УЭ, проще подбирать в группы ввиду того, что разброс сопротивления их минимален и проч. [6]. Благодаря двухсторонней защите резистивной фольги с помощью химически инертных материалов (полиимидной пленки) – см. рис. 4 – такие ТР могут работать в условиях повышенной влажности и наличия в исследуемых материалах коррозионных сред. Фольговые ТР выпускаются с

широким набором размеров баз (длины и ширины), номиналов сопротивления, конфигурации фольги (прямоугольная, круговая, розеточная и проч.), что в значительной мере расширяет возможности их применения при исследованиях и контроле строительных объектов и конструкций

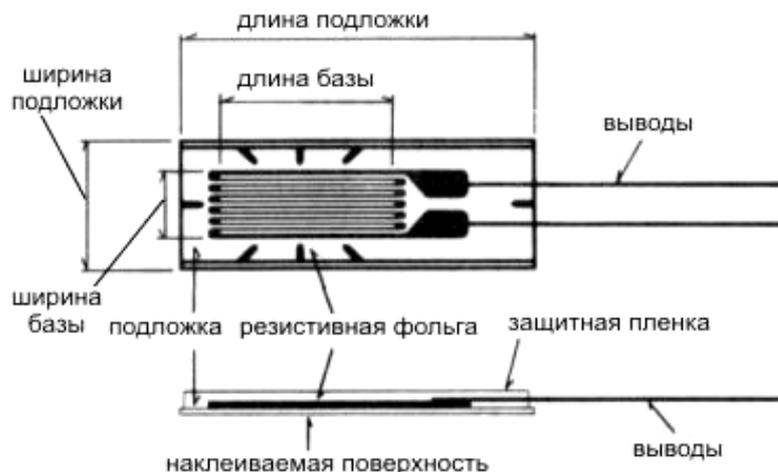


Рис. 4. Одиночный фольговый тензорезистор

Получим передаточную характеристику ТР, для чего проанализируем изменение его сопротивления под действием деформации. Сопротивление тензопроволоки опишем известной формулой:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (3)$$

где l , S – длина и площадь поперечного сечения тензопроволоки; ρ – удельное сопротивление ее материала. Продифференцировав (3), получим

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dS}{S}. \quad (4)$$

Составляющие формулы (4) имеют следующий физический смысл:

$dl/l = \varepsilon$ – относительная деформация;

$d\rho/\rho = m \cdot \varepsilon$, где m – коэффициент изменения удельного сопротивления под действием деформации [3];

для проводника круглого сечения $\frac{dS}{S} \approx \frac{2\pi r dr}{\pi r^2} = \frac{2dr}{r} = -2\mu\varepsilon$, где μ – коэффициент Пуассона.

Подставляя в формулу (4) введенные обозначения, получаем основное уравнение тензоэффекта:

$$\frac{dR}{R} = (1 + 2\mu + m)\varepsilon = K \cdot \varepsilon, \quad (5)$$

где $K = 1 + 2\mu + m$ – коэффициент тензочувствительности, являющийся по сути передаточной характеристикой ТР.

Переходя к конечным приращениям, получаем простую формулу адекватно описывающую тензоэффект:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \varepsilon, \quad (6)$$

где R – сопротивление недеформированной тензопроволоки, а ΔR – абсолютное приращение ее сопротивления при деформации.

Коэффициент тензочувствительности K высокоомных материалов проволок или фольги лежит в пределах 1,9–2,9; платины – 4, полупроводников до 100 и более [6, 7].

3. Базовые конструкции и математические модели чувствительных элементов датчиков механических напряжений

Рассмотрим базовые конструкции ЧЭ, используемые в датчиках механических напряжений [8].

В простейшем виде ЧЭ представляет собой стержень прямоугольного или круглого сечения, нагруженный усилием вдоль оси (рис. 5,а). ЧЭ этого типа применяют для измерений усилий в диапазоне от 10 кН до 5 МН. Для расширения пределов измерений до 1–20 МН и улучшения распределения механических напряжений УЭ ЧЭ часто выполняют в виде полого цилиндра (рис. 5,б), а тензорезисторы наклеивают на его внутреннюю и наружную поверхности.

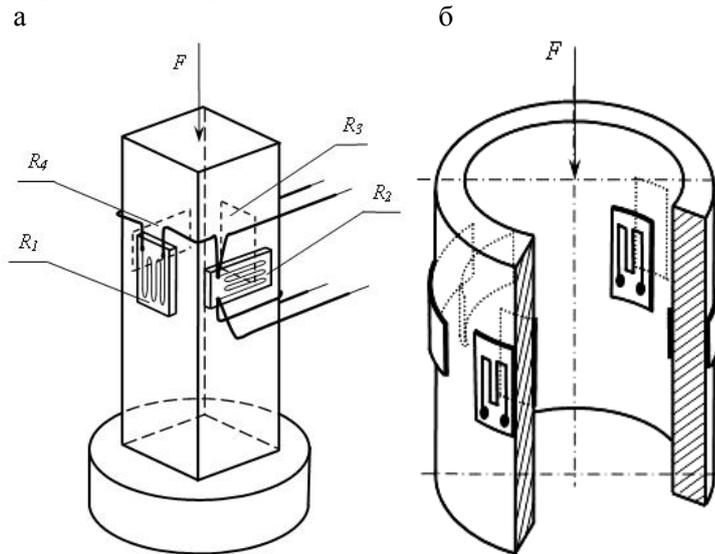


Рис. 5. Чувствительные элементы, использующие деформации растяжения-сжатия:
 а – стержневой (R_1, R_3 – продольные тензорезисторы; R_2, R_4 – поперечные тензорезисторы);
 б – трубчатый (ТР расположены на внутренней и наружной поверхностях)

Принцип действия ЧЭ, показанных на рис. 5, основан на деформационных эффектах растяжения и сжатия в линейной зоне диаграммы напряжение – деформация в соответствии с законом Гука.

Для измерения сил в меньшем диапазоне (примерно до 10 Н) применяют ЧЭ, в которых используют не продольные деформации, как в ЧЭ на рис. 5, а деформации изгиба (рис. 6).

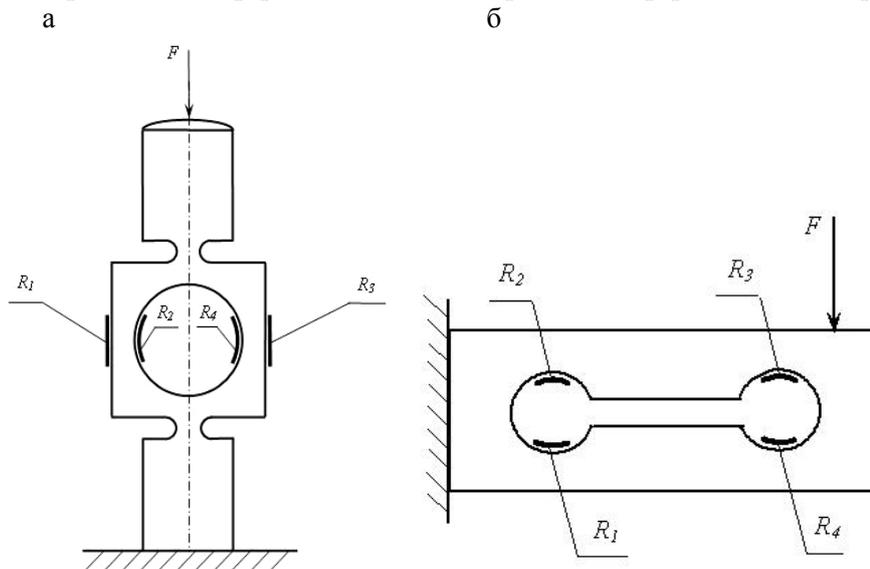


Рис. 6. Чувствительные элементы в виде:
 а – радиально нагруженного кольца; б – сдвоенной балки

В любом из представленных базовых ЧЭ тензорезисторы должны устанавливаться в зонах с максимальной деформацией, при этом местоположение этих зон определяется предварительными расчетами и моделированием деформационных полей с использованием конечно-разностных методов и программ компьютерного моделирования: ELCUT, Solidus Works и др. [9, 10].

Как уже отмечалось, одним из основных звеньев преобразователя механических усилий (см. рис. 1, 2) является мостовая электрическая схема, которая преобразовывает изменение сопротивления в изменение электрического напряжения, которое удобнее измерять и передавать в линию связи [11]. На практике для датчиков усилий и давления, в большинстве случаев, используют мостовые схемы с четырьмя активными ТР, включенные в мостик Уитстона (рис. 7). Сопротивление мостика, как правило, составляет от 120 до 600 Ом, в исключительных случаях до 4000 Ом. Оптимальным значением сопротивления моста оказалась величина 350 Ом, позволяющая разработать датчик наименьших габаритных размеров с высокими метрологическими характеристиками [12].

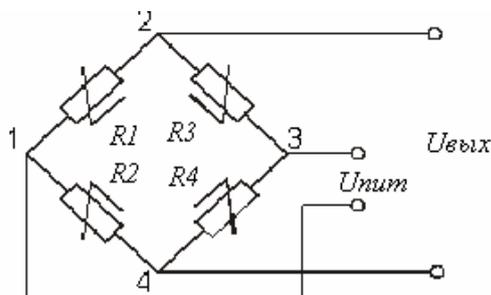


Рис. 7. Мостовая схема тензорезисторного преобразователя механических усилий:
R1 – R4 – тензорезисторы

Получим математическую модель мостовой схемы, состоящей из четырех активных ТР, закрепленных на УЭ таким образом, что при его деформации два ТР находятся в зоне сжатия, что приводит к уменьшению их сопротивления, а два других – в зоне растяжения (рис. 8), что приводит к увеличению их сопротивления. При этом будем полагать, что деформация всех ТР по модулю строго одинакова. В результате их электрические сопротивления могут быть записаны в виде

$$R_1 = R_3 = R + \Delta R + \Delta R_T, \quad (7)$$

$$R_2 = R_4 = R - \Delta R + \Delta R_T. \quad (8)$$

Далее, используя известное соотношение между входным и выходным напряжением мостика Уитстона, получим:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{пит}} \frac{(R + \Delta R + \Delta R_T)^2 - (R - \Delta R + \Delta R_T)^2}{2(R + \Delta R_T)2(R + \Delta R_T)} = U_{\text{пит}} \frac{4\Delta R / R + 4\Delta R \Delta R_T / R^2}{4 + 8\Delta R_T / R + 4\Delta R_T^2 / R^2}; \quad (9)$$

$$U_{\text{вых}} \approx U_{\text{пит}} \frac{\Delta R}{R} = U_{\text{пит}} \cdot K \cdot \varepsilon. \quad (10)$$

Благодаря тому, что все четыре тензорезистора являются активными, исключается воздействие составляющей растяжения, поскольку эта составляющая вызывает у всех тензорезисторов одинаковые по величине и знаку изменения сопротивления. Таким образом, составляющая растяжения исключается аналогично температурной составляющей. Нетрудно показать, что формула (10) является адекватной математической моделью мостовой схемы, а сама мостовая тензометрическая схема обеспечивает максимальную чувствительность к деформации изгиба и нечувствительность к деформации сжатия/растяжения только при условии такого расположения ТР, при котором

действительно выполняется вышеоговоренное условие равенства по модулю деформаций всех ТР при изгибе ЧЭ.

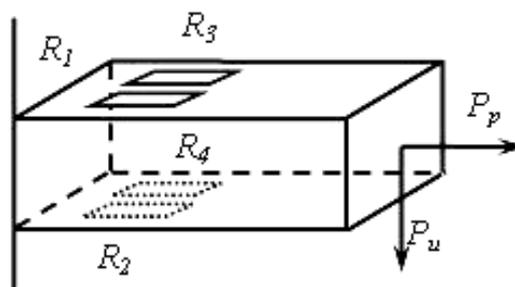


Рис. 8. Модель ЧЭ с четырьмя активными тензорезисторами, включенными в мостовую схему

4. Моделирования долговечности тензометрических преобразователей

Для моделирования ресурса (долговечности) тензометрических преобразователей, разработанных для исследования динамических деформаций, возникающих в железнодорожной насыпи, была разработана методика ускоренных ресурсных испытаний. Согласно методике, тензопреобразователи испытывались на вибростенде, при этом имитировались вибрационные нагрузки, возникающие в грунте от движения поездов [12, 13]. Для ускоренной наработки ресурса тензопреобразователей использовались ускоряющие факторы: частота и амплитуда вибраций, что позволило осуществить наработку 10-летнего ресурса всего за 1 месяц.

Заключение

Таким образом, в ходе проведенных исследований в области моделирования элементов и структурных звеньев датчиков, предназначенных для измерения механических напряжений и усилий, возникающих в строительных сооружениях и конструкциях, были получены следующие результаты:

1. Разработаны математические модели отдельных элементов и звеньев тензодатчиков, которые позволяют оптимизировать конструкции и схемы нагружения ЧЭ, что в итоге приводит к повышению точности, стабильности и параметрической устойчивости преобразователей механических напряжений, являющихся основными элементами систем мониторинга состояния строительных конструкций и зданий.
2. Оптимальными для установки тензорезисторных датчиков являются критические зоны, т.е. зоны максимальных напряжений в строительных конструкциях или средах. Эти зоны предварительно выявляются путем расчета или моделирования.
3. Изменяя количество и взаимное расположение тензорезисторов на упругом элементе, можно определить составляющие вектора механических напряжений, действующих в контролируемой точке здания или строительной конструкции. Смонтированные в прочные герметичные корпуса ЧЭ позволяют получать информацию об усилиях в течение весьма длительного срока.
4. Используя методику ускоренных испытаний и соответствующее испытательное оборудование, можно в значительной мере ускорить проведение ресурсных испытаний тензопреобразователей.

Список литературы

1. Правила организации и проведения натурных наблюдений и исследований на плотинах из грунтовых материалов РД 153-34.2-21.546-2003. – СПб., 2004.
2. Наянов, В.И. Компьютерная система слежения на строительстве крупных мостовых переходов: учебно-методическое пособие / В.И. Наянов, Ю.В. Наянов. – Саратов: СГУ им. Н.Г. Чернышевского, 2009.
3. Финк, К. Измерение напряжений и деформаций / К. Финк, Х. Рорбах. – М.: 1961. – 536 с.
4. Фрайден, Дж. Современные датчики: справочник / Дж. Фрайден; пер. с англ. Ю.А.Заболотной; под ред. Е.Л.Свинцова. – М.: Техносфера, 2005. – 588 с.

5. Джексон, Р.Г. Новейшие датчики: Справочник / Р.Г. Джексон; пер. с англ.; под ред. В.В. Лучинина. – М.: Техносфера, 2007. – 380 с.
6. Клокова, Н.П. Тензорезисторы: Теория, методики расчета, разработки / Н.П. Клокова. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
7. Михайлов, П.Г. Высокотемпературные функциональные материалы для датчиков физических величин / П.Г. Михайлов, А.В. Соколов, Д.А. Сергеев // Инновационные технологии в машиностроительном комплексе: материалы МНТК. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. – С. 282–283.
8. Датчики механических величин: учеб. пособие / Е.А. Мокров, Ю.М. Крысин, А.А. Трофимов, А.Л. Шамраков. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2008. – 164 с.
9. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
10. Самарский, А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М.: Физматлит 2005. – 320 с.
11. Бауман, Э. Измерение сил электрическими методами / Э. Бауман. – М.: Мир, 1978. – 430 с.
12. Метрологическое обеспечение процесса производства датчиков давления / П.Г. Михайлов, А.В. Соколов, Д.А. Сергеев, М.А. Чернецов // Современные информационные технологии: материалы МНТК. – Пенза: ПГТА, 2011. – Вып. 14. – С. 204–209.
13. ГОСТ 28836-90. Датчики силоизмерительные тензорезисторные. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1990.

References

1. Rules of the organization and conduct of field observations and studies on the dams of earth materials RD 153-34.2-21.546-2003. – St. Petersburg, 2004.
2. Nayanov, V.I. Computer system for tracking the construction of major bridges. Training manuals / V.I. Nayanov, Y.V. Noyan. – Saratov: SSU them. N. Chernyshevsky, 2009.
- 3 Fink, K. Measurement of stresses and strains / K. Fink, H. Rohrbach. – M., 1961. – 536 p.
4. Frieden, J. Modern sensors: handbook / J. Frieden; translation from English edited by Yu.A. Zabolotnoy, E.L. Svintsova. – M.: Technosphere, 2005. – 588 p.
5. Jackson, R.G. The latest sensors: handbook / R.G. Jackson; Translation from English edited by V.V. Luchinina. – M., Technosphere, 2007. – 380 p.
6. Klokova, N.P. Strain: Theory, methods of calculation, design / N.P. Klokova. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 224 p.
7. Mikhailov, P.G. High-functional materials for sensors of physical quantities / P.G. Mikhailov, A.V. Sokolov, D.A. Sergeyev // Innovative technologies in machine-building complex: Proceedings of the Proceedings IRTC. – Penza: PSU, 2012. – P. 282–283.
8. The sensors of mechanical quantities: tutorial / E.A. Mokrov, Yu.M. Krysin, A.A. Trofimov, A.L. Shamrakov. – Penza: Univ PSU, 2008. – 164 p.
9. Zenkevich, O. The Finite Element Method in Engineering / O. Zenkevich. – M.: Mir, 1975. – 541 p.
10. Samarskiy, A.A. Mathematical Modeling: Ideas. Techniques. Examples / A.A. Samarskiy, A.P. Mikhailov. – M.: Fizmatlit 2005. – 320 p.
11. Baumann, E. Measurement of electrical power methods / E. Baumann. – M.: Mir, 1978. – 430 p.
12. Metrological support of manufacturing pressure sensors / P.G. Mikhailov, A.V. Sokolov, D.A. Sergeev, M.A. Chernetsov // Advanced Information Technologies: Proceedings of the IRTC. – Penza: PGTA, 2011. – Issue 14. – P. 204–209.
13. GOST 28836-90. General technical requirements and test methods. – M.: Publisher standards, 1990.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Недоговоров Александр Дмитриевич,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Землеустройство и геодезия»
Тел.: 8-841-249-64-00

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Nedogovorov Alexandr Dmitrievich,
Candidate of Science, Associate Professor
of the department «Organization of land use
and geodesy»
Tel.: 8-841-249-64-00

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

А.Д. Недоговоров

Изложена методика определения упругих характеристик при центральном растяжении материала с использованием упругих характеристик при центральном сжатии.

Ключевые слова: определение, упругие характеристики, строительные материалы.

DEFINING ELASTIC CHARACTERISTICS OF BUILDING MATERIALS AT STRETCHING

A.D. Nedogovorov

The article shows methods of defining elastic characteristics of building materials at central stretching using elastic characteristics at central compression.

Keywords: definition, elastic characteristics, building materials.

Испытание на растяжение таких строительных материалов, как всевозможные бетоны, растворы, клеевые составы, полимерные материалы, представляет определенные трудности. Связано это с небольшой прочностью этих материалов при растяжении и большой хрупкостью.

Образцы для испытания на центральное растяжение готовят в виде восьмерок, у которых на концах имеются уширения для закрепления образца в специально изготовленных захватах разрывной машины. Образцы могут быть призматическими, на их концах по геометрической оси закладываются анкера из арматурной стали. С помощью анкеров образец закрепляется в захват разрывной машины, как при испытании на растяжение арматурной стали, и производится испытание на растяжение.

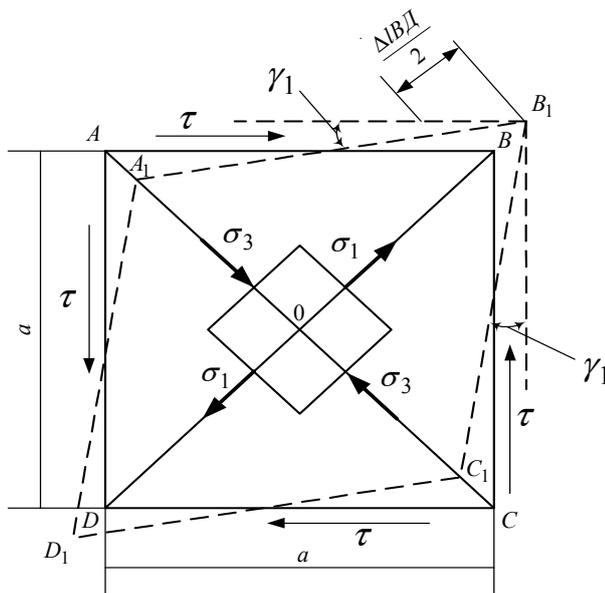
Для измерения деформаций по каждой грани в середине образца наклеивают продольный и поперечный датчики. Продольный датчик предназначен для измерения продольных, поперечный – для измерения поперечных деформаций материала образца.

Описанные способы закрепления образца в захватах разрывной машины имеют существенный недостаток: при отсутствии геометрического эксцентриситета при испытании невозможно избежать физического эксцентриситета. И образец при испытании оказывается в условиях сложного внешнего воздействия – на него действует растяжение с изгибом.

При обработке же результатов испытаний внешнюю нагрузку считают центрально приложенной, а деформацию принимают усреднённой из показаний четырех датчиков. Физико-механические характеристики при растяжении, найденные по вышеописанной методике испытания материала и обработки, получаются приближенными.

С недостатками такой методики определения физико-механических характеристик материалов при растяжении мирились, так как работу конструкций на растяжение из этих материалов просто не учитывали. Однако с появлением новых композиционных материалов (полимербетоны, полимеррастворы, металлокамни и др.), прочность которых на растяжение значительна, появилась возможность учитывать работу этого материала на растяжение. Поэтому возникла необходимость в более точном определении физико-механических свойств материалов при растяжении.

Одним из способов повышения точности определения физико-механических свойств материалов при растяжении может служить изменение методики обработки результатов испытаний, при этом испытания остаются традиционными. Теоретической основой для разработки такой методики является возможность установления аналитической связи между физико-механическими характеристиками при растяжении и при сжатии одного и того же материала. Такую связь между упругими характеристиками можно установить, если рассмотреть деформации элемента при чистом сдвиге (см. рисунок).



Деформация элемента при сдвиге

Абсолютную деформацию диагонали ВД, равную до приложения нагрузки $a\sqrt{2}$, можно вычислить двумя путями [1].

Вычислим удлинение диагонали ВД от главных напряжений σ_1 и σ_3 :

$$\Delta l_{ВД} = \varepsilon_1 a\sqrt{2},$$

где ε_1 – относительная деформация, которая определяется по обобщенному закону Гука при плоском напряженном состоянии:

$$\varepsilon_1 = \sigma_1 / E_p - \mu_{сж} \sigma_3 / E_{сж}.$$

Подставляя $\sigma_1 = \tau, \sigma_3 = -\tau$, получим $\varepsilon_1 = \tau(1/E_p + \mu_{сж}/E_{сж})$.

Деформация диагонали ВД будет

$$\Delta l_{ВД} = \tau(1/E_p + \mu_{сж}/E_{сж})a\sqrt{2}. \quad (1)$$

Удлинение диагонали ВД можно вычислить также через относительный сдвиг $\gamma(\gamma = 2\gamma_1)$:

$$\Delta l_{ВД} = D_1B_1 - DB = OB_1 2 - a\sqrt{2}.$$

Из треугольника OB_1A_1 :

$$OB_1 = a \cos(45^\circ - \gamma_1) = a\sqrt{2}/2 + a\sqrt{2}\gamma/2;$$

$$\Delta l_{ВД} = (a\sqrt{2}/2 + a\sqrt{2}\gamma/2)2 - a\sqrt{2} = 2a\sqrt{2}\gamma/2 = a\sqrt{2}\gamma/2.$$

Вследствие малости γ_1 приняли $\cos \gamma_1 = 1$, $\sin \gamma_1 = \gamma_1$. По закону Гука при чистом сдвиге $\gamma = \tau / G$. Значит,

$$\Delta l_{ВД} = a\sqrt{2}\tau / 2G. \quad (2)$$

Приравнявая (1) и (2), получим

$$G = 1 / \left(2 \left(1 / E_p + \mu_{сж} / E_{сж} \right) \right). \quad (3)$$

Рассматривая аналогичным образом абсолютную деформацию диагонали элемента АС, получим другой вариант для G :

$$G = 1 / \left(2 \left(1 / E_{сж} + \mu_p / E_p \right) \right). \quad (4)$$

Здесь G – модуль сдвига; E_p , $E_{сж}$ – модули упругости при растяжении и сжатии материала; $\mu_p, \mu_{сж}$ – коэффициенты поперечной деформации при растяжении и сжатии.

Модуль сдвига, полученный по формуле (3) и (4), должен быть одним и тем же числом. Поэтому, приравняв между собой правые и левые части формул (3) и (4), получим

$$E_p = E_{сж} (1 - \mu_p) / (1 - \mu_{сж}) \quad (5)$$

$$\text{или } \mu_p = 1 - E_p / (E_{сж} (1 - \mu_{сж})). \quad (6)$$

Формулы (5) и (6) выражают аналитическую связь между упругими характеристиками при растяжении и сжатии одного и того же материала. Эти формулы служат теоретической основой для предлагаемой методики обработки и получения упругих характеристик материалов при растяжении. Методика заключается в том, что из испытаний материала на растяжение берется только коэффициент поперечной деформации μ_p , а все другие характеристики $E_{сж}$, $\mu_{сж}$ – из испытания материала на сжатие.

Коэффициент поперечной деформации μ_p при испытании на растяжение можно получить достаточно точно, не заботясь особо о характере положения растягивающей нагрузки, так как $\mu_p = \varepsilon_{поп} / \varepsilon_{прод}$. Он зависит от относительных деформаций материала в двух взаимно перпендикулярных направлениях в одной и той же точке. Причем для получения μ_p даже нет необходимости фиксировать величину нагрузки.

В свою очередь, упругие характеристики материала $E_{сж}$, $\mu_{сж}$ при сжатии получают достаточно достоверно по апробированной надежной методике.

Обработка результатов испытаний на центральное растяжение и сжатие полимерных клеев на основе латекса СКС-65ГП и поливинилацетатной эмульсии позволяют сделать вывод, что ошибка в определении модуля упругости при растяжении по традиционной методике может достигать 25...50 % в сторону занижения его истинного значения. Причем ошибка тем больше, чем ниже прочность на растяжение материала.

В таблице указаны модули упругости при растяжении, полученные по формуле (5) (числитель), и по традиционной методике по усредненным продольным деформациям и растягивающей внешней нагрузке (знаменатель).

Полимерцементный раствор	Предел прочности при растяжении, МПа	Коэффициент Пуассона		Модуль упругости		Расхождение, %
		При растяжении	При сжатии	При сжатии, МПа	При растяжении, МПа	
1. На латексе СКС65 ГП $\left(\frac{\pi}{\sigma} = 2\right)$	2,14	0,184	0,15	$84 \cdot 10^2$	$\frac{86,4 \cdot 10^2}{58 \cdot 10^2}$	49
2. На эмульсии ПВА $\left(\frac{\pi}{\sigma} = 2\right)$	4,57	0,17	0,12	$124 \cdot 10^2$	$\frac{131,5 \cdot 10^2}{104 \cdot 10^2}$	21

Физико-механические характеристики при сжатии получены путем испытания на центральное сжатие призм с размерами 4x4x16 см.

Физико-механические характеристики при растяжении получены путем испытания на центральное растяжение образцов-восьмерок с сечением 2x2,5 см и с призматической частью длиной 9 см.

Вывод. Для определения модуля упругости при растяжении композиционного материала рекомендуется пользоваться формулой (5). Коэффициент поперечной деформации μ_p получают при испытании материала на растяжение; $E_{сж}$, $\mu_{сж}$ – при испытании материала на центральное сжатие.

Формулы (5), (6) могут служить контролем правильности определения упругих характеристик материалов при растяжении и сжатии.

Список литературы

Недоговоров, А.Д. Напряженное состояние клеевого бетонного сопряжения при сдвиге / А.Д. Недоговоров // Строительная механика и расчет сооружений. – 1984. – №5. – С.59–62.

References

Nedogovorov, A.D. Stress state adhesive concrete interface by the displacement / A.D. Nedogovorov // Building mechanics and calculation of the constructions. – 1984. – №5. – P.59–62.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства
Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Миряев Борис Васильевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: miryaevbv@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Miryaev Boris Vasilyevich,
Candidate of Science, Assistant Professor
of the department «Building construction»
E-mail: miryaevbv@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СЕТЧАТЫХ КУПОЛОВ, ОБРАЗОВАННЫХ НА ОСНОВЕ ИКОСАЭДРА

Б.В. Миряев

Излагается алгоритм геометрического построения оптимальных многогранников, образованных на основе икосаэдра. Приводятся рекомендации по выбору многогранной поверхности подъемистых куполов.

Ключевые слова: оптимизация, геометрическая схема, купол, икосаэдр.

OPTIMIZATION OF THE GEOMETRY OF RETICULATED DOMES ON THE BASIS OF ICOSAHEDRON

B.V. Miryaev

Algorithm of geometrical modelling of optimum polyhedrons formed on the basis of icosahedron is expounded. Recommendations for high-elevated domes polyhedral surface solution are given.

Keywords: optimization, geometrical scheme, dome, icosahedron.

Одной из основных проблем проектирования сетчатых куполов является выбор геометрической разрезки сферической поверхности, имеющей минимальное количество типоразмеров элементов. Основой для геометрического построения подъемистых ($D/H \geq 5$) сетчатых куполов в подавляющем большинстве случаев служат правильные многогранники – икосаэдр и додекаэдр (рис.1). М.С. Туполевым была предложена геометрическая схема построения сетчатой поверхности на основе икосаэдра с использованием принципов кристаллографии [1].

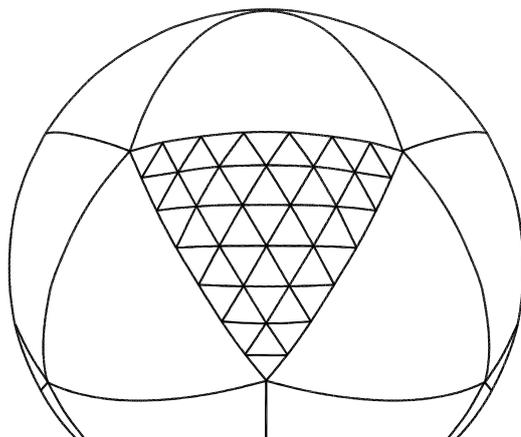


Рис. 1. Схема образования поверхности сетчатого купола на основе икосаэдра

Метод геометрического построения купольных покрытий, разработанный Р.Б. Фуллером, базируется на другом правильном многограннике – додекаэдре. Вопросы геометрического построения купольных поверхностей на основе правильных

многогранников исследовались также в работах А.А. Журавлева, Г.Н. Колесникова, В.А. Савельева и других ученых [2, 3, 4].

Рассмотрим более подробно многогранные поверхности сетчатых куполов с треугольными ячейками, образованные на основе икосаэдра. Во многих случаях геометрическое построение таких поверхностей производится по геодезической схеме, когда узлы купола располагаются на геодезических линиях. Такие купола называются геодезическими. Геодезические поверхности образуются, в случае если ребро икосаэдра разделить на n равных частей и полученную таким образом треугольную сетку спроецировать на сферу. При всей своей простоте построения такие многогранники имеют один существенный недостаток – большое число типоразмеров элементов (см. таблицу). Например, у геодезического 320-гранника имеется 6 типоразмеров стержней и 5 граней, у 500-гранника – соответственно 9 и 7. Предложенный М.С. Туполевым «кристаллический» 720-гранник позволяет уменьшить количество типоразмеров стержней [1]. В другом 720-граннике сокращено также количество типоразмеров граней и панелей [4].

Количество типоразмеров элементов многогранников, построенных на основе икосаэдра и додекаэдра

Исходный правильный многогранник	Число частей, на которое делится ребро правильного многогранника	Кол-во граней полученного многогранника	Количество типоразмеров		
			стержней	граней	панелей
И	3	180	3	2	2
Д	2	240	4	2	3
И	4	320 Г	6	5	6
И	4	320 ОП	4	3	4
И	5	500 Г	9	7	9
И	5	500 ОП	5	4	5
Д	3	540	6	3	5
И	6	720 Г	12	9	12
И	6	720 К	7	6	8
И	6	720 ОП	7	4	6
Д	4	960	8	4	7
И	7	980 Г	16	12	17
И	7	980 ОП	8	6	8
И	8	1280 Г	20	15	22
И	8	1280 ОП	9	7	10
Д	5	1500	10	5	9
И	9	1620 Г	25	18	27
И	9	1620 ОП	11	8	12

П р и м е ч а н и е . И – икосаэдр, Д – додекаэдр, Г – геодезическая схема, К – кристаллическая схема, ОП – оптимизированная схема.

При проектировании купольных покрытий применение 720-гранника не всегда оправдано. Для небольших куполов наиболее целесообразно использовать 320- или 500-гранники, а при значительных пролетах количество граней приходится увеличивать до 980 и более. Для уменьшения числа типоразмеров элементов куполов, образованных на основе икосаэдра, разработан алгоритм оптимизации и написана программа «ОРТСУПОЛ»*. Суть алгоритма заключается в выделении в геометрической схеме парных стержней и нахождении, с помощью метода последовательных приближений, координат узлов, при которых длины этих стержней были бы одинаковыми. На первой итерации геометрический расчет купола производится по геодезической схеме: определяются координаты узлов на сфере и длины стержней. Для выбранной пары стержней определяется разность длин δ_1 . На второй итерации положение узла на грани икосаэдра корректируется с учетом δ_1 и заново определяются координаты данного узла на сфере, длины стержней и разность длин δ_2 . Если относительная разность длин

* В написании программы и ее отладке принимала участие М.В. Данилова.

больше заданной точности, то итерации продолжаются, если нет – итерации для данной пары стержней прекращаются.

Рассмотрим применение алгоритма на примере 320-гранника, получаемого путем деления ребра икосаэдра на четыре части. При проецировании грани такого икосаэдра на сферу образуется правильный сферический треугольник с 15 узлами (рис.2). Выделим в нем сферический прямоугольный треугольник, одна сторона которого совпадает с узлами 1, 2, 3, а две другие совпадают с плоскостями симметрии. Будем варьировать вдоль плоскости симметрии положением узла 7 до тех пор, пока длина стержня 7–8 не станет равна длине стержня 3–7. Затем, зафиксировав узел 7, будем перемещать по границе сферического треугольника узел 2, с тем чтобы стержень 1–2 стал равным стержню 2–7. Полученная таким образом поверхность имеет 4 типоразмера стержней, 3 – граней и 4 – панелей¹. Новизна такой схемы подтверждена авторским свидетельством № 1548376².

Следующий многогранник имеет 500 граней (рис. 3). Изменяя положения узлов 8, 9 вдоль плоскостей симметрии и положения узлов 2, 3 на его границе, получим в конечном итоге 500-гранник, содержащий 5 типоразмеров стержней, 4 – граней и 5 – панелей.

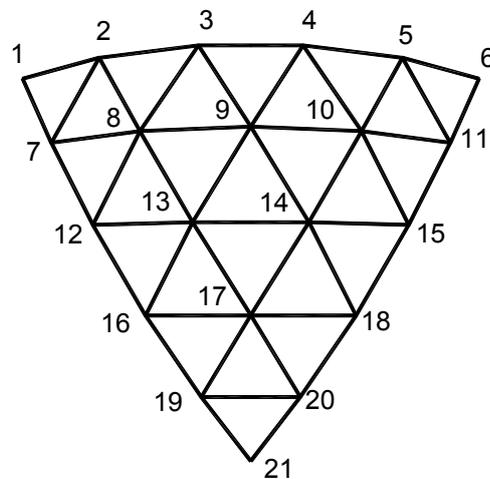
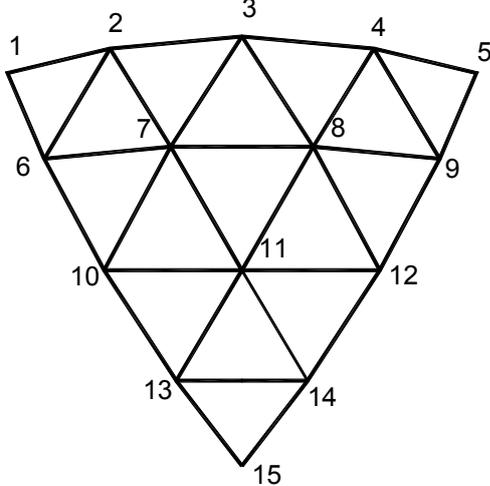


Рис. 2. Правильный сферический треугольник, являющийся частью 320-гранника

Рис. 3. Правильный сферический треугольник, являющийся частью 500-гранника

Аналогичный подход при геометрическом построении других многогранников (980-, 1280-гранника и т.д.) также позволяет уменьшить количество типоразмеров элементов. Так, 980-гранник, построенный по геодезической схеме, имеет 16 типоразмеров стержней и 17 – панелей, а после оптимизации количество типоразмеров стержней и панелей уменьшилось соответственно до 8, т.е. в два раза. Новизна схемы 980-гранника подтверждена патентом №2235833³.

Описанные выше многогранники удовлетворяют критерию оптимальности, предложенному Г.Н.Колесниковым [3]

$$T \leq S - 2U_2 - U_1,$$

где T – минимальное число типоразмеров стержней; S – общее число стержней; U_2 – число узлов, имеющих две степени свободы (перемещение по плоскости); U_1 –

¹ Под термином «панель» в данной статье подразумевается усеченная треугольная пирамида, бóльшим основанием которой является треугольная грань многогранника. Для 180-гранника, который образован только из равнобедренных граней, количество типоразмеров граней и панелей равно между собой. Для других многогранников количество типоразмеров панелей бóльшее количества типоразмеров граней на величину, равную количеству косоугольных граней.

² А.с. 1548376 СССР, МКИ Е 04 В 7/08. Сферический купол / Б.В. Миряев. – заявл. 04.01.88; опубл. 07.03.90, Бюл. № 9. – 2 с.: ил.

³ Патент 2235833. Российская Федерация. МПК Треугольный сегмент многогранного сферического купола / Миряев Б.В., Данилова М.В.; Пензенская государственная архитектурно-строительная академия.; заявл. 16.10.2001; опубл. 10.09.2004, Бюл. № 25. – 2 с.: ил.

число узлов, имеющих одну степень свободы (перемещение вдоль произвольной линии на плоскости).

Для 320-гранника при рассмотрении прямоугольного сферического треугольника узлы 2 и 7 имеют одну степень свободы, тогда при $S = 6$, $U_2 = 0$, $U_1 = 2$ получаем:

$$T_{320} \leq 6 - 2 \cdot 0 - 2 = 4.$$

Для 500-гранника при $S = 9$, $U_2 = 0$, $U_1 = 4$

$$T_{500} \leq 9 - 2 \cdot 0 - 4 = 5.$$

В результате оптимизации значительно уменьшается количество типоразмеров элементов по сравнению с геодезической схемой (до 50 %). В таблице приведены данные о количестве типоразмеров элементов наиболее употребительных многогранников. Количество типоразмеров элементов многогранников на основе додекаэдра подсчитано по формулам, приведенным в работе [4]. Параметры кристаллического 720-гранника вычислены М.С.Туполевым.

Оптимизированные многогранники на основе икосаэдра по числу типоразмеров элементов примерно равны многогранникам на основе додекаэдра. А.А. Журавлевым в работе [2] отмечается, что выбор геометрической схемы купола обуславливается не только количеством типоразмеров элементов, но и конструктивным решением опорного контура. В связи с этим следует отметить, что для подъемистых куполов на основе икосаэдра, близких к полусфере, линии, проходящие по границам треугольников через опорные узлы, располагаются почти горизонтально и имеют небольшие изломы (в пределах 3–5°). Для куполов на основе додекаэдра опорные линии характеризуются существенными изломами (56–64°), что значительно усложняет конструкцию фундаментов или опорного контура. Для спрямления опорной линии в этом случае приходится дополнительно проектировать доборные стержни или панели, что на 30–50 % увеличивает количество типоразмеров элементов.

Выводы

1. Оптимизация многогранной поверхности сетчатых куполов, образованных на основе икосаэдра, позволяет уменьшить до 50 % количество типоразмеров сборных элементов.
2. При проектировании подъемистых куполов, близких к полусфере ($H/D=0,4 \dots 0,6$), их геометрическую поверхность целесообразно образовывать на основе икосаэдра.

Список литературы

1. Туполев, М.С. Новые варианты сборных куполов и сводов-оболочек / М.С. Туполев // Новые виды пространственных покрытий: учеб. пособие по курсу гражд. и пром. зданий. – М.: МArchI, 1963. – С. 4–37.
2. Журавлев, А.А. Купольные покрытия из дерева и пластмасс: спецкурс / А.А. Журавлев. – Ростов н/Д: Рост. инж.-строит. ин-т, 1983. – 102 с.
3. Колесников, Г.Н. Оптимизация геометрических схем купольных покрытий в форме многогранника // Организация, методы и технология проектирования: рефер. информ./ ЦИНИС. – М., 1979. – Вып.2. – С.15–18. – (Серия 13).
4. Савельев, В.А. Пространственные и висячие покрытия / В.А. Савельев // Металлические конструкции: справочник проектировщика; под ред. Н.П.Мельникова. – М.: Стройиздат, 1980. – С.320–345.

References

1. Tupolev, M. S. New variants of collapsible domes and vault casings / M. S. Tupolev // New forms of spatial roofs: Civil and industrial buildings course tutorial. – М.: MArchI, 1963. – P. 4–37.
2. Zhuravlev, A.A. Dome-shaped roofs of wood and plastic: Optional course / A.A. Zhuravlev – Rostov-on-Don: Rost. State Institute of Engin. and Construction, 1983. – 102 p.
3. Kolesnikov, G. N. Optimization of the geometrical diagrams of polyhedron-shaped reticulated domes // Organization, methods and technologies of designing: reference inform. / TSINIS. – М., 1979. – Issue 2. – P.15–18. – (Series 13).
4. Savelev, V.A. Spatial and suspended roofs / V.A. Savelev // Metal constructions: Designer's manual; Under edit. N. P. Melnikov. – М.: Stroyizdat, 1980. – P.320–345.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Кочеткова Майя Владимировна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технология строительного
производства»
E-mail: M.V.Kochetkova@mail.ru

Гусев Николай Иванович,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Технология строительного
производства»
Тел.: (8412) 92-69-29

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Kochetkova Maya Vladimirovna,
Candidate of Science, Associate Professor
of the department «Technology
of construction production»
E-mail: M.V.Kochetkova@mail.ru

Gusev Nikolai Ivanovich,
Candidate of Science, Professor
of the department «Technology
of construction production»
Tel.: (8412) 92-69-29

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ РОСТВЕРКОВ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПОД КОЛОННЫ

М.В. Кочеткова, Н.И. Гусев

Приведены данные о неравномерном распределении нагрузки между сваями, объединенными ростверком. Предложен метод определения прочности ростверков с помощью пространственной стержневой модели, которая рассчитывается с использованием методов строительной механики для статически неопределимых систем.

Ключевые слова: прочность ростверков, стержневые модели, куст свай под колонну.

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL APPROACH TO CALCULATION OF PILE FOUNDATION GRILLAGE DURABILITY

M.V. Kochetkova, N.I. Gusev

The article shows the data of uneven distribution of the load between the piles combined by grillage. A method for determining the strength of grillage with spatial beam model is calculated using the methods of structural mechanics for statically indeterminate systems.

Keywords: durability grillage, rod models, dolphin under a column.

Свайные фундаменты широко используются в строительстве. В настоящее время применяется более 150 типов свай и их конструктивных видов, которые принято классифицировать по двум основным признакам: по характеру передачи нагрузки на грунт и по условиям изготовления свай. Группу свай объединяет плита, называемая ростверком. Расчет свайных фундаментов включает в себя определение прочности как материала свай, так и свайных ростверков. Очевидно, что наиболее достоверные значения прочности можно получить на основе физических экспериментов. Испытание свайных фундаментов, состоящих из нескольких свай, вызывает определенные производственные трудности. Поэтому испытываются в основном одиночные сваи, а несущая способность свайного куста принимается равной произведению числа свай на несущую способность одиночной сваи.

Однако, как показывают опыты, несущая способность свайного куста не равна произведению несущей способности одной сваи на число свай в фундаменте. В песчаных грунтах она оказывается больше указанного произведения, а в глинистых грунтах, наоборот, – меньше, что объясняется неравномерным распределением нагрузок на отдельные сваи в составе фундамента. Испытания моделей свайных фундаментов в песчаных грунтах показали, что нагрузки, воспринимаемые любой свайей в

составе фундамента больше таковой для одиночной сваи. Причем при всех ступенях загрузки центральные сваи воспринимают большую нагрузку, чем угловые. Но при расчете ростверка этот факт в нормативной литературе никак не учитывается.

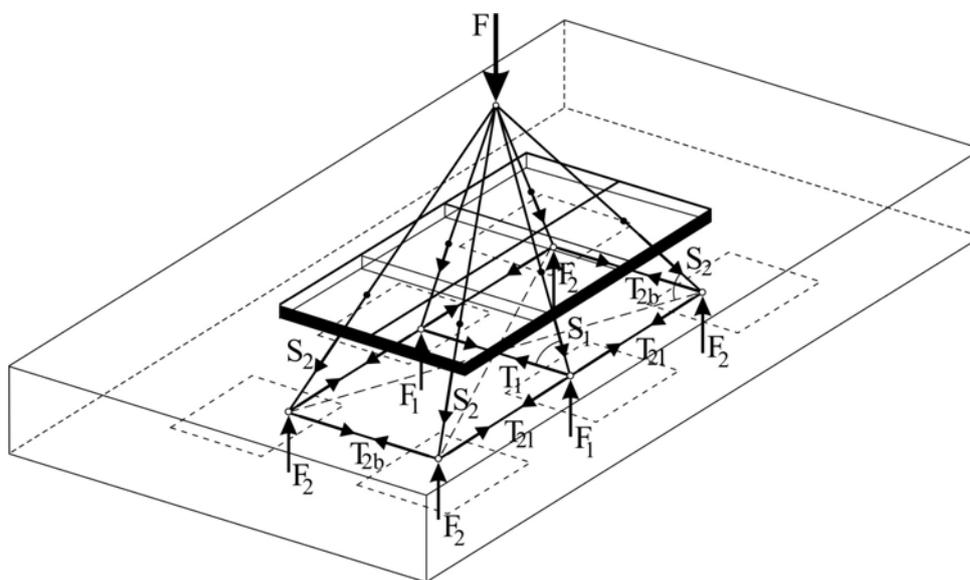
Распределение нагрузки между отдельными сваями в фундаменте зависит от многих факторов: от грунтовых условий, способа погружения свай, расстояния между сваями, высоты ростверка и его армирования, величины нагрузки, порядка и способа нагружения свай.

При опирании свай на сжимаемые грунты (висячие сваи) принято считать, что вертикальные напряжения σ_z распределяются по площади, равной основанию конуса, образующая которого составляет со свайей угол α , зависящий от сил трения грунта по его боковой поверхности. При расстоянии между сваями менее $6d$ (d – ширина поперечного сечения сваи) происходит наложение напряжений, вследствие чего давление на грунт в уровне нижних концов свай возрастает. Поэтому для более эффективной работы свай их рекомендуют располагать на расстоянии не менее $3d$ друг от друга. Зона сжатия грунта под кустом свай, по сравнению с одиночной свайей, значительно больше. Что касается несущей способности свайного куста, то, с одной стороны, дополнительное уплотнение грунта, вызванное забивкой соседних свай, приводит к ее увеличению. С другой, – осадка грунта межсвайного пространства в результате совместной работы свай и осадка грунта под подошвой ростверка приводят к ее уменьшению, поскольку снижаются силы трения по боковым поверхностям свай. Влияние кустового эффекта на работу свайных фундаментов сложно, иногда противоречиво и требует тщательного экспериментального изучения. Изменение начальных свойств грунтов при погружении свай, зависимость этих изменений от технологии устройства свайных фундаментов и используемого оборудования, взаимное влияние свай при их совместной работе в кустах, включение в работу ростверка и многое другое предопределили чрезвычайно сложный характер взаимодействия свай с грунтовым основанием и ростверком.

При опирании свай на практически несжимаемые скальные грунты (сваи-стойки) крайние сваи менее нагружены, чем средние сваи вблизи колонны. Эксперименты, проведенные в Пензенском государственном университете архитектуры и строительства, показали, что напряжения над средними опорами больше, чем над крайними, в 1,2–4 раза, в зависимости от схемы расположения свай (шага и количества), схемы и процента армирования ростверков. Выводы сделаны не только по характеру образования и развития трещин в ростверках, но и по показаниям тензодатчиков, расположенных на бетоне и арматуре исследуемых конструкций, а также показаниям индикаторов часового типа и тензодатчиков, измеряющих деформации сжатия над сваями-опорами. На основе физического эксперимента были получены зависимости изменения разрушающей силы при изменении числа опор. Для сопоставления возьмем ростверки с количеством опор 4, 6, и 8. При увеличении опор с четырех до шести прочность возрастает в 1,6 раза. С увеличением числа опор от шести до восьми прочность возрастает в 1,025 раза (на 2,5 %), то есть практически не изменяется. Неравномерное распределение нагрузки между сваями привело к тому, что средняя нагрузка на сваю при увеличении числа опор с шести до восьми снизилась в 1,3 раза. Таким образом, в шестисвайных ростверках сваи используются наиболее эффективно. Исследованные схемы расположения свай можно разделить на две группы. Схемы расположения свай, при которых горизонтальные оси колонны не совпадают с поперечными либо продольными осями свай, т.е. ростверки с числом свай 4 и 8, отнесены к первой группе, при совпадении указанных осей для одного ряда свай, т.е. ростверки с числом свай 6 и 12 – ко второй группе. Исследования показали, что наиболее эффективной является вторая группа схем расположения свай. При увеличении числа свай происходит переход от более эффективной схемы расположения свай к менее эффективной таким образом, что разрушающая сила при этом не изменяется.

Разрушающая сила в ростверках увеличивается непропорционально росту количества свай. Проведенные исследования, физический эксперимент и численные методы легли в основу метода построения стержневых моделей.

Ранее были предложены пространственные каркасно-стержневые модели ПКСМ-А и ПКСМ-Ф для многорядных свайных ростверков под колонны. Для построения моделей использовался метод копирования напряженно-деформированного состояния и схем разрушения ростверков. В целом, картина напряженно-деформированного состояния ростверков представляет собой условную каркасную структуру, элементы которой ориентированы в пространстве. Элементы стержневых моделей должны имитировать наклонные сжатые полосы и растянутые пояса, образованные концентрацией главных напряжений (см. рисунок). При расчете стержневых моделей условно считаем, что узлы соединения сжатых и растянутых стержневых элементов шарнирные. Одних уравнений равновесия для расчета такой стержневой системы недостаточно, так как она является статически неопределимой. Ранее предлагалось усилия распределять пропорционально условным грузовым площадкам, соответствующим числу свай, учитывая при этом напряженно-деформированное состояние ростверков. Размеры и положение грузовых или опорных площадок определялись по зависимостям, основу которых составляло соотношение высоты ростверка и длины сжатых полос.



Стержневая модель для ростверка на 6 опорах ПКСМ-А

Дальнейшие исследования показали, что для определения усилий в стержнях модели ПКСМ-А (см. рисунок) можно использовать методы строительной механики, например, энергетическую формулу метода сил. Функционал Кастильяно запишем в виде:

$$U_k = \frac{1}{2} \sum \frac{S_i^2 l_i}{EA_i},$$

где S_i – усилия в стержнях; l_i – длины стержней; EA_i – жесткость на растяжение-сжатие.

Используя метод вырезания узлов, находим значения внутренних усилий, выраженные через параметр внешней нагрузки F . Записываем функционал Кастильяно для модели шестисвайного ростверка:

$$U_k = \frac{1}{2EA} (2S_1^2 l_1 + 4S_2^2 l_2 + 4T_{21}^2 l_3 + 2T_{2b}^2 l_4 + T_1^2 l_5).$$

Из условия экстремальности функционала находим усилие в одном стержне, а затем из уравнений внутренних сил, выраженных через параметр внешней нагрузки, находим усилия во всех остальных стержнях. Жесткость для всех стержней предла-

гается брать одинаковой, так как изменение соотношения жесткостей в 2–3 раза дает незначительное перераспределение усилий на 2–3 %.

Определяя вертикальные реакции данной конструкции по найденным усилиям, получаем: $\frac{F_1}{F_2} = 1,8$. Учитывая, что рабочая площадь свай, наиболее удаленных от

колонны, меньше, чем рабочая площадь свай, находящихся вблизи колонны, можно сопоставить расчеты с результатами физического эксперимента. Получим отношение деформаций (напряжений) $\Delta_1 / \Delta_2 = 1,3$ – при расчете и $\Delta_1 / \Delta_2 = 1,2$ – по эксперименту. Следует отметить, что на распределение усилий влияют схема и процент армирования. Чем больше арматуры в растянутой зоне над сваями, тем равномернее распределяются усилия между сваями. Поэтому этот фактор в окончательном расчете должен учитываться соответствующим коэффициентом. Прочность ростверков по сжатой зоне определяется по расчету каждой наклонной бетонной полосы, по растянутой зоне определяется на основе предельного состояния соответствующего арматурного пояса.

Предлагаемая стержневая модель хорошо описывает физическую работу ростверков, способна учитывать схему расположения свай, схему приложения нагрузки, перемещение свай и податливость основания.

Эффективное применение свай и свайных ростверков позволит сделать свайные фундаменты более дешевыми. Для решения практических задач фундаментостроения необходимо учитывать совместную работу свай, ростверка и грунтового основания.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Нежданов Кирилл Константинович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»,
заслуженный изобретатель России,
почетный строитель

Жуков Александр Николаевич,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Nezhdanov Kirill Konstantinovich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Building construction»,
Deserve inventor of Russia, honorary builder

Zhukov Alexander Nikolaevich,
Postgraduate of the department «Building
structures»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАЛЕТРУБОБЕТОНА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОБРУШЕНИЯ ФЕРМ ПОКРЫТИЯ ПРИ ПОЖАРЕ

К.К. Нежданов, А.Н. Жуков

Разработан новый способ защиты ферм покрытия зданий различного назначения от воздействия высоких температур. Используя свойство воды забирать значительное количество тепла при испарении, исключают возможность разогрева конструкции. Предложены конструктивные решения с применением сталетрубобетона для реализации данного способа.

Ключевые слова: предотвращение обрушения, фермы покрытия, пожар, сталетрубобетон.

THE USE OF GUNCRETE FOR PREVENTING TRUSS COVERING FALL DURING A FIRE

K.K. Nezhdanov, A.N. Zhukov

A new method of protecting covering truss of various buildings from high temperature effect is developed. The property of water to take a significant amount of heat at evaporation prevent the bulding heating up. To implement this method the authors have proposed the use of guncrete.

Keywords: fall preventing, covering truss, fire, guncrete.

Металлические конструкции являются наиболее пожароопасными конструкциями, так как при нагревании сталь теряет свою прочность. При нагревании до $\approx 600^\circ\text{C}$ [1] сталь переходит в пластическое состояние и происходит обрушение стальных конструкций. Однако сталь начинает терять прочность уже при температуре $\approx 200^\circ\text{C}$. Алюминиевые сплавы полностью переходят в пластичное состояние при температуре $\approx 200^\circ\text{C}$, поэтому их огнестойкость в несколько раз ниже, чем у стальных конструкций.

Известно также, что при нагреве воды до температуры 100°C начинается её кипение и интенсивное испарение, сопровождающееся значительным забором тепла. Используем это замечательное свойство для исключения возможности обрушения металлических ферм покрытия. При этом применим замкнутые трубчатые конструкции. Их охлаждение изнутри будет происходить за счет испарения воды в результате нагрева их снаружи открытым огнём.

В предлагаемой конструкции фермы будем использовать новые эффективные овалыные профили (отношение большего габарита к меньшему габариту равно трём), предложенные К.К. Неждановым [2].

Предложенное техническое решение [3] – исключение возможности обрушения ферм покрытия гражданских и промышленных сооружений под воздействием высоких

температур путем охлаждения элементов ферм изнутри парами воды. Испарение воды останавливает повышение температуры на отметке кипения воды 100 °С. За счет этого возрастает живучесть ферм и исключается внезапная потеря устойчивости сжатых элементов. Выполнив сечения из овальных трубобетонных элементов с отношением большего габарита к меньшему, равном трём, переводят работу всей конструкции фермы из опасной стадии работы по первому предельному состоянию в более благоприятную стадию работы – по второму.

Способ заключается в том, что верхний и нижний пояса фермы и сжатые раскосы изготавливают заранее из овальных труб с отношением большего габарита к меньшему габариту, равному трём [2, 4]. Затем точно фрезеруют торцы под углом 90 градусов к продольной оси пояса, бетононасосом по шлангу нагнетают в овальные профили пластичный мелкозернистый самоуплотняющийся при расширении бетон и центробежным способом (центрифугированием) отбрасывают его на периферию стержня, оставляя центральный продольный канал.

Центробежные силы отжимают из бетона излишнюю воду и улучшают водоцементное отношение, а при схватывании самоуплотняющегося бетона напрягают обойму изнутри.

Далее снаружи бетон всесторонне обжимают обоймой и превращают овальные сжатые элементы фермы в трубобетонные с центральным продольным каналом, повышая тем самым их огнестойкость. Устойчивость и живучесть возрастает при этом в 1,5...1,6 раза.

На поточной линии каждый из поясов фермы большим габаритом овала ориентируют перпендикулярно плоскости фермы, а к верхнему и нижнему поясу фермы присоединяют контактной сваркой или полуавтоматической сваркой седлообразные столики (рис.2).

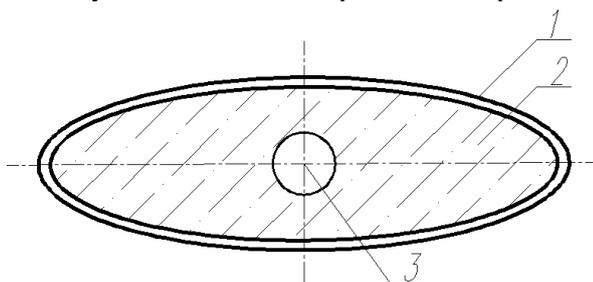


Рис.1. Сечение верхнего пояса фермы из трубобетона с отверстием внутри:

1 – овальный профиль; 2 – бетонное ядро; 3 – отверстие для прохода воды

На сборочном стенде верхний и нижний пояса располагают параллельно друг другу, присоединяют к седлообразным столикам раскосы и стойки фермы, раскрепляют сжатые элементы решётки в плоскости фермы двумя шпренгелями. Этим понижают их гибкость в плоскости фермы в три раза.

Оснащение сооружения температурными датчиками и системой труб для подачи воды самотеком и разбрызгивания её внутри каналов в овальных трубобетонных и трубчатых профилях фермы позволяет в случае возникновения пожара автоматически на верхней отметке включать подачу и разбрызгивание воды внутри каналов в овальных трубчатых профилях каждой фермы. Сток воды происходит под действием сил гравитации вниз по каналам трубчатых профилей. В ферме предусмотрены отверстия (с постоянным шагом) для выхода пара и снижения избыточного давления. Охлаждение металлических трубчатых профилей фермы изнутри парами воды исключает возможность повышения температуры металла фермы выше 120...130 °С, а в итоге и возможность обрушения конструкций покрытия сооружения. Работу всей конструкции фермы переводят из опасной стадии работы по первому предельному состоянию в более благоприятную – по второму.

Для уменьшения материалоёмкости растянутые элементы фермы выполняют из низколегированной стали.

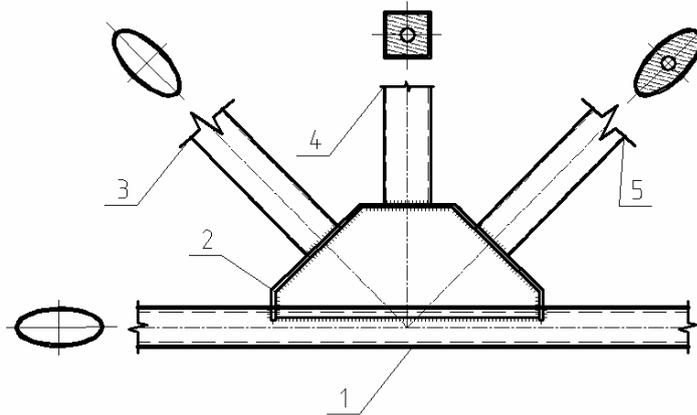


Рис.2. Сопряжение нижнего пояса фермы и раскосов при помощи седлообразного столика.

Сопряжение верхнего пояса выполнено аналогично:

1 – нижний пояс фермы; 2 – седловидный элемент; 3 – растянутый раскос; 4 – сжатая стойка; 5 – сжатый раскос

Итак, приведенный способ исключения обрушения стропильных систем от воздействия запредельных температур путем остановки их нагрева на отметке кипения воды позволяет гарантировать надежную и безотказную работу конструкции даже при аварийных воздействиях.

Список литературы:

1. Канчели, В.Н. Строительные пространственные конструкции: учеб. пособие / В.Н. Канчели. – М.: АСБ, 2003. – 112 с.
2. Нежданов К.К., Туманов А.В., Нежданов А.К. Способ усиления железобетонной колонны, утратившей несущую способность: патент России №2274719. М., Кл. У 04G 23/02. Заявка №2004116028 от 2004.02.19. Бюл. №11. Опубликовано 20.04.2006.
3. Нежданов К.К., Нежданов А.К., Жуков А.Н. Способ исключения возможности обрушения стальных ферм и покрытия от пожара: заявка № 2011126192 от 28.06.11.
4. Нежданов К.К., Туманов В.А., Рубликов С.Г., Нежданов А.К. Способ повышения несущей способности цилиндрической трубы на изгиб: патент России №2304479. Бюл. №23. Опубликовано 20.08.2007.

References

1. Kancheli, V.N. Building spatial structures: tutorial / V.N. Kancheli. –M: Publishing house ASB, 2003. – 112 p.
2. Nezhdanov K.K., Tumanov A.V., Nezhdanov A.K. Strengthening way of reinforced concrete column, which had lost the bearing power. Russian patent №2274719.M.,Kl.U 04G 23/02. Patent application №2004116028 of 2004.02.19. Patent office journal №11. Pubd 20.04.2006.
3. Nezhdanov K.K., Nezhdanov A.K., Zhukov A.N. The way of exclusion possibility avalanche of steel frames and coating from fire. Patent application № 2011126192 of 28.06.11.
4. Nezhdanov K.K., Tumanov A.V., Rublikov S.G., Nezhdanov A.K. The way of increasing the bearing power of a cylindrical pipe bending. Russian patent №2304479. Patent office journal №23. Pubd 20.08.2007.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ENGINEERING SYSTEMS

УДК 697.932.3

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства
Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Аверкин Александр Григорьевич,
кандидат технических наук, профессор
профессор кафедры «Теплогасоснабжение
и вентиляция»
E-mail: algraw@mail.ru

Еремкин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
советник при ректоре, зав. кафедрой
«Теплогасоснабжение и вентиляция»
Тел.: +7 (412) 92-94-10
E-mail: eremkin@pquas.ru

Камбург Владимир Григорьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: kamburg@rambler.ru

Penza State University of Architecture
and Construction
Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Averkin Alexander Grigorievich,
Candidate of Science,
Professor of the department «Heating, Gas
supply and Ventilation»
E-mail: algraw@mail.ru

Eremkin Alexander Ivanovich,
Doctor of Science, Professor,
Adviser at a rector, Head of the department
«Heating, Gas Supply and Ventilation»
Tel.: +7 (412) 92-94-10
E-mail: eremkin@pquas.ru

Kamburg Vladimir Grigoryevich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Information and computer
systems»
E-mail: kamburg@rambler.ru

КОСВЕННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ОПРЕДЕЛЯЮЩЕГО ЛИНЕЙНОГО РАЗМЕРА КАПЕЛЬ ВОДЫ, РАСПЫЛЯЕМОЙ МЕХАНИЧЕСКИМИ ФОРСУНКАМИ В ПОТОКЕ ВОЗДУХА

А.Г. Аверкин, А.И. Еремкин, В.Г. Камбург

Приведен метод оценки эффективного диаметра водяной капли при распылении воды механическими форсунками контактного аппарата в потоке воздуха.

Представлены результаты апробации разработанного косвенного метода определения эффективного диаметра капли воды при работе широкофакельной и эжекционной форсунок в режиме адиабатического увлажнения воздуха.

Ключевые слова: эффективный диаметр капли воды, механическая форсунка, контактный аппарат, метод итераций, тепловлажностная обработка воздуха, поверхность теплообмена.

INDIRECT METHOD OF ASSESSMENT DETERMINING LINEAR SIZE OF WATER DROPS SPRAYED BY NOZZLES IN THE MECHANICAL AIR FLOW

A.G. Averkin, A.I. Eremkin, V.G. Kamburg

A method for estimating an effective diameter of a water drop sprayed by mechanical contact device injectors in the air stream is given.

The results of the testing method are presented.

Keywords: effective diameter of a water drop, mechanical injector, contact device, method of iterations, steam curing air, surface heat and mass transfer.

Представленные научные исследования посвящены разработке метода количественной оценки эффективного диаметра водяных капель при распылении воды механическими форсунками в потоке воздуха.

В оросительных форсуночных камерах (ОКФ) прямое определение площади тепло-массопереноса является трудной задачей, точное решение которой невозможно из-за сложной аэродинамической обстановки и дисперсности факела распыла, который зависит от ряда факторов. В данных условиях площадь тепло-массопереноса определяется суммарной поверхностью водяных капель, которая, в свою очередь, зависит от их количества и линейных размеров (диаметра).

В зависимости от величины рабочего давления воды перед форсунками изменяется их производительность (чем выше давление, тем на большее количество мелких капель дробится выходящая из них вода, тем больше их суммарная поверхность). Показано [1], что при распылении 1 кг воды на капли диаметром d_k образуется следующая поверхность капель (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Зависимость суммарной поверхности капель распыляемой воды от их диаметра

Диаметр капель d_k , мм	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Суммарная поверхность капель F_k , м ² /кг	120	60	30	20	15	12	7,5

В зависимости от режимных параметров ОКФ (объемной или массовой производительности, коэффициента орошения) и диаметра капель воды, образующихся при форсуночном распылении, можно получить различные значения площади тепло-массопереноса в контактном узле. Об этом свидетельствуют графические зависимости, представленные на рис. 1. Они получены на основе табл. 1.

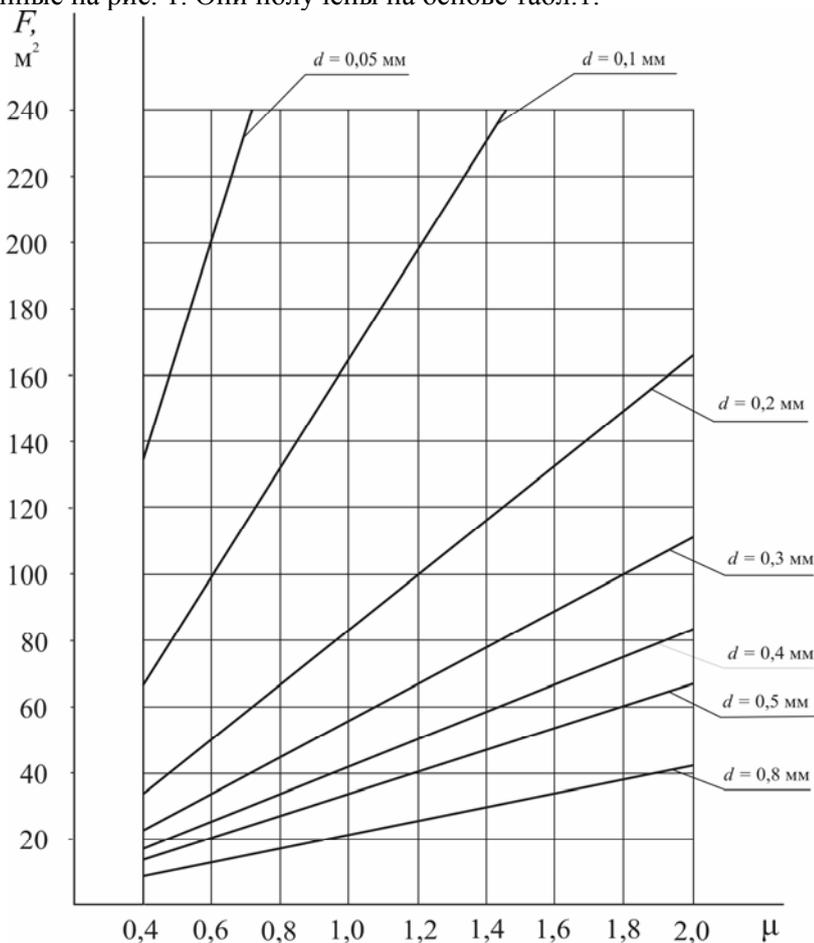


Рис. 1. Зависимость поверхности капель воды (площади тепло-массопереноса) F_k от коэффициента орошения μ и диаметра капель распыляемой воды d ($d = 0,05 \dots 0,8$ мм) при обработке 10000 кг/ч воздуха в ОКФ

Как видно из рис. 1, в ОКФ при обработке 10000 кг/ч (2,78 кг/с) воздуха общая суммарная поверхность капель воды, образующихся при распылении воды с помощью механических форсунок, изменяется в широких интервалах.

Установлено [2], что меньшую долю, примерно 20 %, составляют мелкие капли диаметром менее 0,3 мм, которые полностью уносятся потоком воздуха. Мелкие капли интенсивно испаряются из-за их быстрого нагрева, повышенного давления над выпуклой поверхностью и снижения парциального давления паров воды в обрабатываемом воздухе за счет его осушки на основной массе крупных капель. Крупные капли диаметром до 2...3 мм недогреваются, что ведет к недоиспользованию температурного потенциала воды.

В объеме камеры имеют место разнонаправленные процессы: увлажнение воздуха на мелких каплях и осушка – на крупных.

Вследствие полидисперсности форсуночного факела тепломассообмен представляет собой целый спектр процессов, характерных для капель разного диаметра.

В [3] описана методика определения поверхности тепломассопереноса при тепло-влажностной обработке воздуха в контактном аппарате на основе числа единиц переноса. Применение методики требует проведения количественной оценки определяющего линейного размера капель воды l в распыле форсунки контактного аппарата. В частности, параметр l используется для расчета коэффициентов теплоотдачи, массоотдачи, критерия Рейнольдса. Техническую задачу по его оценке можно упростить, если принять следующий физический смысл параметра l .

Определяющий линейный размер капли воды (l) – это среднестатистический диаметр водяных капель, которые образуются при диспергировании воды в воздушной среде и суммарная поверхность которых соответствует поверхности тепломассопереноса в контактном аппарате. Данный параметр можно численно определить для конкретных условий при форсуночном распылении воды в потоке воздуха, применяя косвенный метод расчета. В качестве исходных данных предлагается использовать следующие режимные параметры и техническую характеристику процесса тепло-влажностной обработки воздуха в контактном аппарате:

- расход воздушного потока (производительность ОКФ), кг/с;
- коэффициент орошения μ , кг/кг;
- зависимость коэффициента эффективности от коэффициента орошения $E_a = f(\mu)$ для данного контактного узла [3, 4];
- зависимость $F_k = f(\mu, d)$ при $G = \text{const}$, приведенную на рис. 1, 2.

На рис. 2 представлена зависимость $F_k = f(\mu, d)$ для области с увеличенным диаметром водяных капель в факеле распыла.

Расчет определяющего линейного размера капель воды предлагается осуществлять с помощью метода последовательных приближений (метод итераций):

1. Строится графическая зависимость $F = f(\mu, d)$ для соответствующей производительности контактного аппарата G (см. рис. 1, 2).

2. Назначается численное значение определяющего линейного размера капель распыляемой воды $l = d = 0,1 \dots 2,0$ мм.

3. Рассчитывается площадь тепломассопереноса F , м^2 , согласно методике, описанной в [3], для заданного режима работы контактного аппарата и при известном коэффициенте эффективности E_a .

4. Определяется численное значение коэффициента орошения μ из предварительно найденной зависимости $E_a = f(\mu)$ для данного контактного аппарата;

5. Оценивается требуемая поверхность капель воды F_k , м^2 , для принятых значений μ (п.4) и назначенных линейных размеров l (п.2).

6. Вычисляется отклонение (разность) ΔF между расчетным значением площади тепломассопереноса F (п.3) и значением требуемой поверхности F_k (п.5).

7. С учетом отклонения ΔF принимается другое значение величины определяющего линейного размера капель распыляемой воды (п.2).

8. Повторно выполняются расчеты по пп. 3,5,6, при этом каждый раз уменьшается ΔF , т.е. несоответствие между расчетной F , м^2 , и его значением F_k , м^2 , по рис. 2 или 1.

9. Определяющий линейный размер каплей распыляемой воды $l = d_3$, мм, считается установленным при равенстве $F = F_k$, т.е. при $\Delta F = 0$.

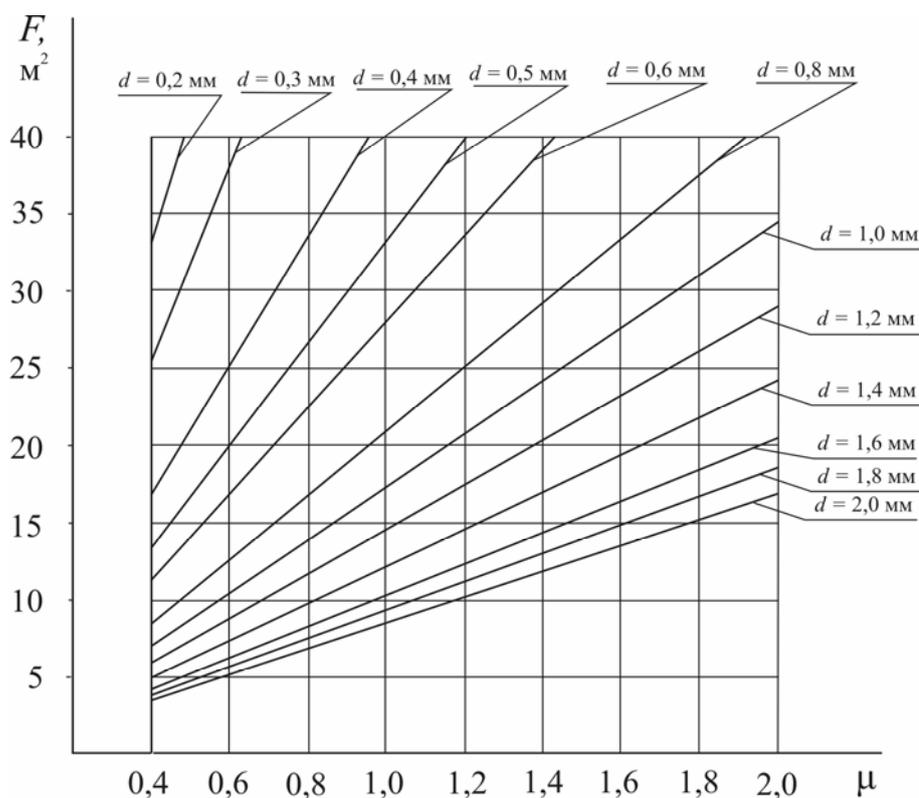


Рис. 2. Зависимость поверхности каплей воды (теплоперенос) F_k от коэффициента орошения μ и определяющего линейного размера ее каплей ($d = 0,2 \dots 2,0$ мм) при распылении механическими форсунками в контактном аппарате при расходе воздуха $G = 10000$ кг/ч

С целью апробации разработанной методики на конкретном примере произведем расчет и анализ определяющего линейного размера водяных каплей при установлении требуемой поверхности теплопереноса в режиме адиабатического увлажнения воздуха для двух вариантов ОКФ: оборудованных форсунками эжекционного типа ФЭТ и эксцентриситетными широкофакельными форсунками ЭШФ 7/10 [3,4].

В качестве исходных данных для расчета примем следующие параметры процесса:

- количество обрабатываемого воздуха 10000 кг/ч;
- начальная температура воздуха $t_1 = 30$ °С;
- конечная температура воздуха $t_2 = 20$ °С;
- начальная энтальпия воздуха $I_1 = 44$ кДж/кг ($t_m = 15,8$ °С);
- барометрическое давление $P_6 = 99$ кПа.

Для принятых условий тепловлажностной обработки воздуха коэффициент адиабатной эффективности E_a составит:

$$E_a = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_{m1}} = \frac{30 - 20}{30 - 15,8} = 0,70,$$

что соответствует коэффициенту орошения:

- $\mu = 0,81$ [3] – при применении ФЭТ;
- $\mu = 1,4$ [4, рис. 15.27] – при использовании ЭШФ 7/10.

Результаты расчета приведены в табл. 2. Расчетная поверхность теплопереноса (поверхность теплообмена и массообмена – численные значения в графах 4, 5) определена по методике на основе числа единиц переноса [3].

Установление определяющего линейного размера водяных капель при расчете требуемой поверхности теплообмена в ОКФ

Тип форсунок	Номер попытки	Определяющий линейный размер водяных капель (предварительный и фактический*), мм	Расчетная поверхность теплообмена F_p , м ²		Требуемая расчетная поверхность теплообмена $F_{тр}$, м ²
			Поверхность теплообмена F_T , м ²	Поверхность массообмена F_M , м ²	
1	2	3	4	5	6
ФЭТ	1	1,0	15,20	15,12	14,50
	2	0,8	13,17	13,20	17,00
	3	0,9	14,21	14,18	15,50
	4	0,95	14,71	14,65	15,00
	5	0,97*	14,91	14,94	14,94
ЭШФ 7/10	1	1,0	15,20	15,12	24,00
	2	0,8	13,17	13,20	28,00
	3	1,4	18,80	18,47	17,00
	4	1,31*	18,00	17,76	18,00

Требуемая расчетная поверхность теплообмена (численные значения – в графе 6) определена по рис. 2.

Из табл. 2 следует, что для установления определяющего линейного размера водяных капель распыляемой воды с помощью косвенного метода потребовалось предпринять несколько попыток в обоих вариантах.

Для форсунок ФЭТ первые две попытки (при назначении определяющего линейного размера $l = 1,0$ мм и $l = 0,8$ мм) позволили определить рабочий интервал требуемой расчетной поверхности теплообмена $F_{тр} = 14,50 \text{ м}^2 \dots 17,00 \text{ м}^2$ (при $l = 1,0$ мм – $F_p = 15,20 \text{ м}^2 > F_{тр} = 14,50 \text{ м}^2$; при $l = 0,8$ мм – $F_p = 13,20 \text{ м}^2 < F_{тр} = 17,00 \text{ м}^2$). При третьей попытке было уточнено направление движения по градиенту (при назначении $l = 0,9$ мм условие $F_p < F_{тр}$, как и во второй попытке, сохранилось, но разность $\Delta_2 = F_{тр} - F_p$ уменьшилась с $\Delta_2 = 17,00 - 13,20 = 3,80 \text{ м}^2$ до $\Delta_3 = 15,50 - 14,21 = 1,29 \text{ м}^2$, что позволило назначить в четвертой попытке $l = 0,95$ мм и получить $\Delta_4 = 15,00 - 14,71 = 0,29 \text{ м}^2$, в пятой попытке при $l = 0,97$ мм $\Delta_5 = F_{тр} - F_p = 14,94 - 14,94 = 0 \text{ м}^2$.

Таким образом, для данных условий тепловлажностной обработки воздуха при использовании для распыления воды форсунок ФЭТ требуемая расчетная поверхность теплообмена составляет $F_{тр} = 14,94 \text{ м}^2$ при фактическом определяющем линейном размере водяных капель $l = 0,97$ мм и коэффициенте орошения $\mu = 0,81$.

Для форсунок ЭШФ 7/10 определяющий линейный размер водяных капель распыляемой воды установлен на основании описанных выше процедур после четырех попыток ($l = 1,31$ мм, $F_{тр} = 18,00 \text{ м}^2$, $\mu = 1,4$).

Анализ полученных величин, представленных в табл. 2, свидетельствует о том, что при использовании форсунок эжекторного типа в ОКФ при одинаковых технологических и режимных параметрах процесса достигается (обеспечивается) численно меньший определяющий линейный размер капель распыляемой воды ($l < 1$ мм) и, соответственно, требуется меньшая величина поверхности теплообмена, чем при работе эксцентричных широкофакельных форсунок ЭШФ 7/10 ($14,94 \text{ м}^2$ против 18 м^2). По данной причине величина коэффициента орошения при использовании ФЭТ ниже, чем при применении ЭШФ 7/10.

Также приведенные расчетные данные свидетельствуют об интенсификации процесса тепловлажностной обработки воздуха в контактном аппарате при применении форсунок ФЭТ, разработанных в Пензенском ГУАС.

Для уменьшения трудоемкости расчетов разработан программный продукт ТВОБ-СК [5], позволяющий рассчитывать поверхность теплообмена при различных режимах

тепловлажностной обработки воздуха: адиабатическом увлажнении и охлаждении воздуха или политропическом охлаждении и осушении.

Таким образом, с помощью разработанной методики можно однозначно назначить линейный размер капли воды при ее форсуночном распылении в контактном аппарате.

Список литературы

1. Кокорин, О.Я. Отечественное оборудование для создания систем вентиляции и кондиционирования воздуха: каталог / О.Я.Кокорин, А.М.Дерипасов. – М.: ИКФ «Каталог», 2002. – 91 с.
2. Стефанов, Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха: монография / Е.В. Стефанов. – СПб.: АВОК-Северо-Запад, 2005. – 400 с.
3. Аверкин, А.Г. Тепловлажностная обработка воздуха в системах вентиляции и кондиционирования: монография / А.Г.Аверкин. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 188 с.
4. Внутренние санитарно-технические устройства: в 3 ч. Ч.3, Кн.2. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Б.В.Баркалов [и др.]; под ред. Н.Н.Павлова и Ю.И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1992. – 416 с.
5. Аверкин, А.Г. Методическое и программное обеспечение расчета поверхности теплообмена контактных аппаратов при обработке воздуха водой на основе числа единиц переноса / А.Г.Аверкин, В.Г.Камбург, А.С.Колесников // Приволжский научный журнал. – 2012. – №3. – С. 117-123.

References

1. Kokorin, O.Ya. Our equipment for creating systems ventilation and air conditioning: the / O.Ya. Kokorin, A.M. Deripasov. – M.: IKF «Catalog», 2002. – 91 p.
2. Stefanov, E.V. Ventilation and Air Conditioning: monograph. – St. Petersburg: «AVOK-North-West», 2005. – 400 p.
3. Averkin, A.G. Steam curing air in the ventilation and air conditioning: monograph / A.G.Averkin. – Penza: PGUAS, 2011. – 188 p.
4. Domestic plumbing devices: In 3 hours P.3, Kn.2. Ventilation and air conditioning / B.V.Barkalov [and others], ed. N.N.Pavlova and J.I. Schiller. – 4th ed., Ne-rerab. and add. – M.: Stroyizdat, 1992. – 416 p.
5. Averkin, A.G. Methodology and software for the calculation of the surface heat and mass transfer apparatus in contact with water treatment systems based on the number of transfer units / A.G. Averkin, V.G. Kamburg, A.S. Kolesnikov // Volga scientific journal – 2012. – №3. – P. 117–123.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Фильчакина Ирина Николаевна,
старший преподаватель кафедры
«Теплогасоснабжение и вентиляция»
E-mail: Filchakina@mail.ru

Ерёмкин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
советник при ректоре, зав. кафедрой
«Теплогасоснабжение и вентиляция»
E-mail: eremkin@pquas.ru

Береговой Александр Маркович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Городское строительство
и архитектура»
E-mail: bereg@rambler.ru.

Ежов Евгений Григорьевич,
доктор физико-математических наук,
доцент кафедры «Информационно-
вычислительные системы»
Тел.: (8412) 42-05-03; 53-42-45;
(8412) 52-05-60.

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Filchakina Irina Nikolaevna,
Senior lecturer of the department «Heatgas
supply and ventilation»
E-mail: Filchakina@mail.ru

Eremkin Alexander Ivanovich,
Doctor of Science, Professor,
Adviser at a rector, Head of the department
«Heatgas supply and ventilation»
E-mail: eremkin@pquas.ru

Beregovoi Aleksandr Markovich,
Doctor of Science, Professor, Head of the
department «Urban construction and
Architecture»
E-mail: bereg@rambler.ru.

Ezhov Evgeniy Grigor,evich,
Doctor of physico-mathematical Sciences,
Associate Professor of the department
«Information and computer systems»
Tel.: (8412) 42-05-03; 53-42-45;
(8412) 52-05-60.

НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА МОДЕЛИ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ РАЗДАЧИ ВОЗДУХА

И.Н. Фильчакина, А.И. Ерёмкин, А.М. Береговой, Е.Г. Ежов

Представлены новые результаты экспериментальных исследований, проведённых на модели прядильного цеха. Подтверждена высокая эффективность системы технологического кондиционирования воздуха локальным способом по типу вытесняющей вентиляции с использованием нового воздухораспределителя.

Ключевые слова: воздухораспределитель локальной раздачи, метод неполного физического моделирования, количественный показатель теплопоступлений.

NEW RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF AIR MANIFOLD FOR THE LOCAL DISTRIBUTION OF AIR IN THE MODEL

I.N. Filchakina, A.I. Eremkin, A.M. Beregovoi, E.G. Ezhov

The article presents new results of experimental studies conducted on a model of spinning shop, confirming high efficiency of the system of technological air-conditioning local method according to the type of displacement ventilation using a new air manifold.

Keywords: an airdistributor of local dispensing, method of incomplete physical modeling, quantitative measure of heat gain.

Введение

Проведённый авторами анализ существующих способов воздухоораздачи позволил сделать вывод о том, что применительно к текстильному производству наиболее эффективным является локальный способ воздухоораздачи, при котором приточный

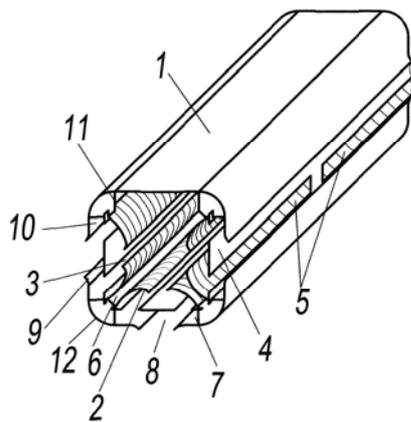
воздух подаётся непосредственно в технологическую (зона обработки бобин с нитью, навоя, ровницы, пряжи и др.) и рабочую зоны.

Предполагается, что при локальной раздаче воздуха из общего количества тепла, поступающего от солнечной радиации через световые проёмы, покрытие, стены, а также от технологического оборудования и искусственного освещения, в рабочую зону поступает лишь некоторая его часть, характеризующаяся коэффициентами теплопоступления $k_1 \cdot Q_{\text{рад.верт}}$, $k_2 \cdot Q_{\text{рад.покр}}$, $k_3 \cdot Q_{\text{рад.обор}}$, $k_4 \cdot Q_{\text{рад.осв.}}$. Остальная часть теплопоступлений $(1 - k_n) \cdot Q$ приточным воздухом и восходящими конвективными потоками от технологического оборудования вытесняется в верхнюю зону, откуда вместе с уходящим загрязнённым воздухом удаляется наружу. В дальнейшем эти теплопоступления предлагается не учитывать при определении воздухообменов в помещении. Теплопоступления от людей $Q_{\text{люд}}$ полностью приходятся на рабочую зону.

Поэтому при расчёте воздухообменов технологического кондиционирования локальным способом требуется ассимилировать только теплопоступления, поступающие в нижнюю зону помещения. Это является предпосылкой для минимизации воздухообмена и мощности системы технологического кондиционирования воздуха.

Соблюдая требования санитарно-гигиенических условий, с целью подачи больших объемов приточного воздуха с допустимо малыми скоростями (не более 0,2 м/с) непосредственно в технологическую и рабочую зоны помещения разработали конструкцию воздухораспределителя с интенсивным гашением скорости приточных струй (рис. 1) [1, 2, 3].

а



б

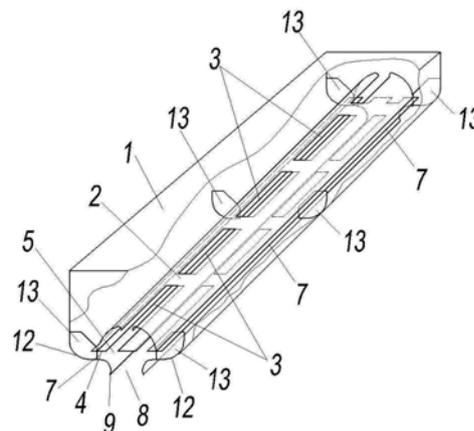


Рис. 1. Воздухораспределитель локальной раздаче воздуха с интенсивным гашением скорости приточных встречных струй:

а – с трёхсторонней раздачей воздуха [3]; б – с односторонней раздачей воздуха;
1, 12 – отражательные планки; 2 – дугообразный экран; 3 – продольные щели дугообразного экрана; 4 – стенки воздухораспределителя в виде плоских экранов; 5 – продольные щели плоского экрана; 6 – воздухонаправляющий зазор; 7, 10 – воздухонаправляющие оппозитные каналы; 8 – результирующий канал; 9 – отогнутые кромки; 11 – пластинчатые разделители воздушного потока; 13 – пластинчатый разделитель воздушного потока

Значительное гашение скорости воздуха в результирующей струе достигается за счет особенности конструкции воздухораспределителя, позволяющей формировать внутри неё несколько воздушных потоков, многократно разделяющихся и соударяющихся между собой, а также за счёт соударения встречных потоков воздуха из оппозитных каналов 7 (см. рис. 1), формирующих результирующую струю на выходе из воздухораспределителя.

Воздухораспределитель является конструкцией постоянного статического давления, т.к. имеет переменное поперечное сечение по ходу движения приточного воздуха. Это позволяет предполагать, что будет обеспечиваться равномерность распределения требуемых параметров микроклимата (t , V , ϕ) по длине и высоте технологической и

рабочей зон помещения, в соответствии с технологическими нормами и санитарно-гигиеническими условиями труда.

Экспериментальная часть

Для апробации технологического кондиционирования локальным способом в лабораторных условиях был разработан и сконструирован экспериментальный стенд (рис. 2), который позволяет с достаточной точностью моделировать тепловые и аэродинамические процессы на примере помещения прядильного цеха.

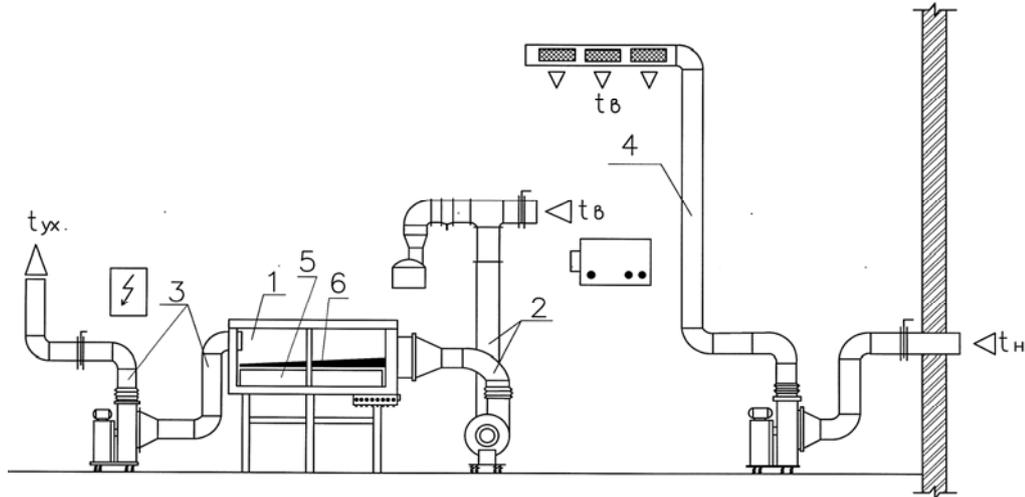


Рис. 2. Схема экспериментального стенда:

- 1 – модель прядильного цеха (М 1:10); 2 – установка для подачи воздуха в модель;
3 – установка для удаления воздуха из модели; 4 – установка для поддержания постоянной температуры в лаборатории; 5 – модель технологического оборудования; 6 – модель воздухораспределителя с односторонней раздачей воздуха

Основной частью данного экспериментального стенда является модель прядильного цеха 1, выполненная в геометрическом масштабе 1:10 и разработанная по методике, в основу которой положен метод неполного физического моделирования [4]. Внутри модели 1 расположены модели технологического оборудования 5 и разработанные авторами модели воздухораспределителей 6 постоянного статического давления с односторонней раздачей воздуха. На внутренних поверхностях стен модели 1 прядильного цеха имеются нагреватели, выполненные из нихромовой нити, а на внутренней поверхности перекрытия модели – медные трубки с нагревателями. Внутри моделей прядильных машин 5 также находятся электронагреватели. Внутренняя атмосфера помещения прядильного цеха создаётся путём моделирования температур на внутренних поверхностях ограждающих конструкций, а также на поверхностях оборудования и искусственного освещения за счёт работы электронагревателей.

Целью эксперимента на модели прядильного цеха явилось получение численных значений коэффициентов теплопоступлений k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , учитывающих долю теплопоступлений в нижнюю зону помещения соответственно от солнечной радиации через стены (окна), покрытие, от оборудования и искусственного освещения:

$$k_i = \frac{Q_{(п.з.)i}}{Q_{(п.т.)i}}, \quad (1)$$

где $Q_{(п.з.)i}$ и $Q_{(п.т.)i}$ – теплопоступления от отдельного вида источника соответственно в рабочую зону и во весь объём помещения, Вт.

Данные показатели необходимы для расчёта количества приточного воздуха $L_{пр}$, м³/ч, подаваемого в помещение локальным способом по схеме воздухообмена «снизу вверх» с помощью предлагаемого воздухораспределителя.

$$L_{\text{пр}} = \frac{(k_1 \cdot Q_{\text{рад.верт}} + k_2 \cdot Q_{\text{рад.покр}} + k_3 \cdot Q_{\text{обор}} + k_4 \cdot Q_{\text{осв}} + Q_{\text{люд}} + Q_{\text{пр}}) \cdot 3,6}{(I_{\text{р.з}} - I_{\text{т}}) \cdot \rho_{\text{р.з}} \cdot k_3}, \quad (2)$$

где $I_{\text{р.з}}$ и $I_{\text{т}}$ – энтальпии воздуха соответственно в рабочей и технологической зонах, кДж/кг с.в.; $Q_{\text{пр}}$ – прочие тепlopоступления, равные 5 % от общего количества тепlopоступлений в нижнюю зону, Вт; $Q_{\text{люд}}$ – тепловыделения от людей применительно к нижней зоне помещения, Вт; k_3 – коэффициент эффективности воздухообмена,

$$k_3 = \frac{t_{\text{yx}} - t_{\text{т}}}{t_{\text{р.з}} - t_{\text{т}}}; \quad (3)$$

здесь t_{yx} , $t_{\text{т}}$, $t_{\text{р.з}}$ – температуры соответственно уходящего воздуха, воздуха технологической и рабочей зон, °С.

Кроме того, путём моделирования требовалось доказать равномерность распределения параметров микроклимата (t , V , ϕ) по длине и высоте обслуживаемой зоны помещения при технологическом кондиционировании воздуха локальным способом с использованием нового воздухораспределителя.

Численные значения коэффициентов k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , полученные на модели (см. рис. 2) применительно к прядильному производству, подтвердили сокращение тепlopоступлений в рабочую зону помещения от солнечной радиации через вертикальные ограждающие конструкции (стены и остекление) на 35 % ($k_1 = 0,35$), через горизонтальные ограждающие конструкции (покрытие) на 30 % ($k_2 = 0,30$), от технологического оборудования на 55 % ($k_3 = 0,55$) и от искусственного освещения на 32 % ($k_4 = 0,32$).

Представленные выше численные значения коэффициентов k_i можно использовать при расчёте воздухообменов применительно только к прядильному производству в Пензенской области. На основании исследований, проведённых на модели (см. рис. 2), получены уравнения для практических расчётов значений k_i соответственно с учётом интенсивности солнечной радиации через вертикальные и горизонтальные ограждающие конструкции, тепловой мощности различного оборудования и осветительных приборов:

$$k_1 = 0,153 \cdot Q^{0,227}; \quad (4)$$

$$k_2 = 0,021 \cdot \ln Q + 0,2415; \quad (5)$$

$$k_3 = 0,158 \cdot Q^{0,191}; \quad (6)$$

$$k_4 = 0,041 \cdot Q^{0,417}. \quad (7)$$

Основываясь на методике неполного физического моделирования [4], рассчитали необходимое количество приточного воздуха $L_{\text{пр}}$ и его параметры (t , V), необходимые для моделирования микроклимата внутри модели прядильного цеха. Относительную влажность воздуха ϕ , %, внутри модели прядильного цеха практически невозможно моделировать; поэтому этот параметр устанавливается по фактической величине, принимаемой для натурального помещения в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.4.548-96, т.е. $\phi_{\text{н}} = \phi_{\text{м}}$.

В результате исследований на модели выявлены закономерности изменения параметров искусственного микроклимата (t , V , ϕ) в рабочей зоне исследуемого помещения прядильного цеха (рис. 3) и во всём объёме помещения (см. рис. 3, а).

Закономерность распределения температуры воздушных потоков по высоте помещения (см. рис. 3, а) позволила выявить уровень стратификации на расстоянии 2,5 метра от пола, который делит помещение на две зоны: верхнюю и нижнюю. В нижней незагрязнённой зоне температура по длине и высоте помещения практически не изменяется, а в верхней – загрязнённой – возрастает по высоте, что характерно для системы перемешивающего типа.

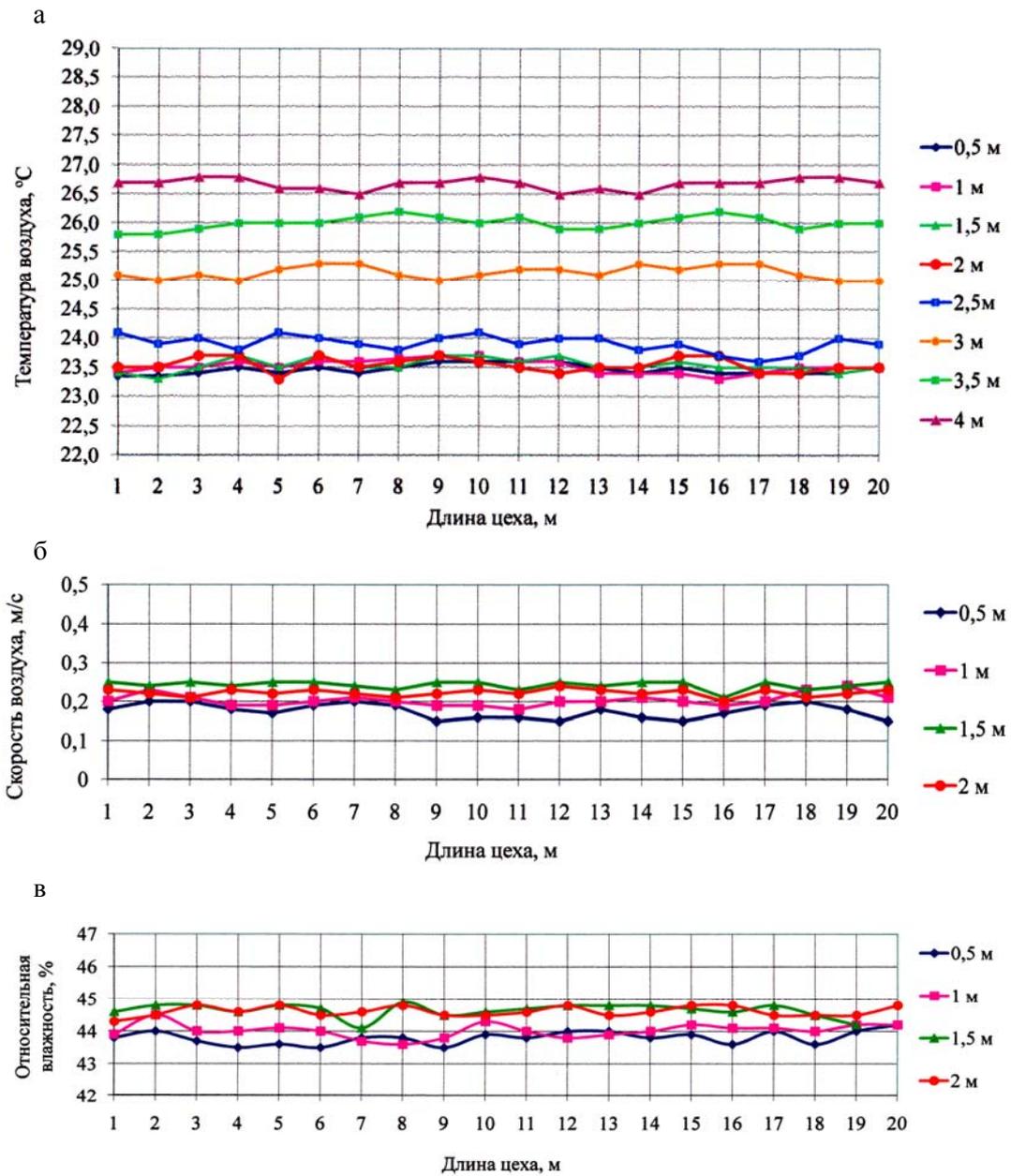


Рис. 3. Изменение параметров микроклимата помещения по длине и высоте рабочей зоны цеха: а – температуры t_v , °С; б – скорости V , м/с; в – относительной влажности ϕ , %

Заключение

Полученные на модели численные значения количественных показателей теплопоступлений k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , а также уравнения (3)–(7) для их определения позволяют сократить объём приточного воздуха при работе системы локальным способом примерно в два раза, по сравнению с вариантом классической системы кондиционирования, действующей по типу перемешивающей вентиляции.

Результаты были получены в процессе эксперимента, проводившегося с применением новой конструкции воздухораспределителя (см. рис. 1), позволяющей осуществлять подачу больших объёмов приточного воздуха с допустимо малыми скоростями непосредственно в технологическую и рабочую зоны помещения.

Результаты исследований на модели подтверждают высокую степень равномерности распределения параметров t , V , ϕ (см. рис. 3) по длине и постоянство их по высоте помещения до уровня стратификации, что характерно для систем вытесняющей вентиляции (см. рис. 3, а). Это является важным аспектом для протекающих в поме-

шении технологических процессов и санитарно-гигиенических условий, что невозможно при использовании системы перемешивающего типа.

На основании оценки результатов, полученных на модели, можно утверждать, что система технологического кондиционирования воздуха за счёт применения новой конструкции воздухораспределителя позволяет одновременно поддерживать параметры микроклимата (t , V , ϕ), соответствующие технологическим (в технологической зоне) и санитарно-гигиеническим (в рабочей зоне) требованиям при минимальных воздухообменах, что подтверждает высокую эффективность конструкции воздухораспределителя и системы в целом.

Список литературы

1. Ерёмкин, А.И. Результаты исследования воздухораспределителя с оппозитным соударением приточных струй / А.И. Ерёмкин, И.Н. Фильчакина // Приволжский научный журнал. – 2010. – №4. – С. 122–129.
2. Фильчакина, И.Н. Разработка и исследование воздухораспределителя для локальной системы технологического кондиционирования по типу вытесняющей вентиляции / И.Н. Фильчакина, А.И. Ерёмкин // Региональная архитектура и строительство. – 2010. – №1. – С. 116–123.
3. Устройство локальной раздачи в технологическую зону прядильного оборудования: пат. 2400578 Рос. Федерация. № 2009117015/12; заявл. 04.09.2009; опубл. 27.09.10, Бюл. № 27 (II ч). – 6 с.
4. Ерёмкин, А.И. Методика расчёта локальной раздачи воздуха методом неполного физического моделирования / А.И. Ерёмкин, И.Н. Фильчакина // Региональная архитектура и строительство. – 2008. – №2. – С. 47–54.

References

1. Eremkin, A.I. The results of studies with opposite diffuser supply air jet collision / A.I. Eremkin, I.N. Filchakina // Volga Scientific Journal. – 2010. – №2. – P. 122–129.
2. Filchakina, I.N. Research and development of the diffuser for the local system of technological air-conditioning type displacement ventilation / I.N. Filchakina, A.I. Eremkin // The regional architecture and construction. – 2010. – № 1. – P. 116–123.
3. The unit of the local distribution in the technological area of spinning equipment: the patent 2400578 Russian Federation. № 2009117015/12; It is declared 04.09.2009; it is published 27.09.10. The bulletin. № 27 (II part). – 6 p.
4. Eremkin, A.I. Methods of calculating the local distribution of the air by an incomplete physical modeling / A.I. Eremkin, I.N. Filchakina // The regional architecture and construction. – 2008. – № 2. – P. 47–54.

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 400074, г. Волгоград,
ул. Академическая, д. 1,
тел.: (8442) 96-99-78; факс: (8442) 96-99-78

Боровков Дмитрий Павлович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Безопасность жизнедеятельности
в техносфере»

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Чичиров Константин Олегович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Теплогасоснабжение
и вентиляция»

Volgograd state university of architecture and building

Russia, 400074, Volgograd, 1,
Akademicheskaya St.,
tel.: (8442) 96-99-78; fax: (8442) 96-99-78

Borovkov Dmitry Pavlovich,
Candidate of Science, Associate Professor
of the department «Safety in Technosphere»

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Chichirov Konstantin Olegovich,
Candidate of Science, Associate Professor of
the department «Heat and gas supply»

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМ АСПИРАЦИИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ЗАКРУТКИ ПОТОКА В ВОЗДУХОВОДАХ

Д.П. Боровков, К.О. Чичиров

Приведена предлагаемая авторами методика проведения прямого и обратного аэродинамического расчета систем аспирации с закруткой потока в воздуховодах.

Ключевые слова: классификация факторов, система управления объектами ЖКХ, финансирование ЖКХ, эффективность управления.

AERODYNAMIC ASPIRATION SYSTEMS CALCULATION AT FLOW SWIRLING IN THE AIR DUCT

D.P. Borovkov, K.O. Chichirov

The authors offer direct and in direct methods of aerodynamic calculation of aspiration systems with swirled flow in ducts.

Keywords: air ducts, aspiration system, swirling flow, reverse aerodynamic calculation, the pressure loss coefficient of local resistance.

В процессе эксплуатации систем аспирации в горизонтальных и наклонных воздуховодах в ряде случаев возникают пылевые отложения. При этом уменьшается живое сечение аспирационного потока и повышается аэродинамическое сопротивление аспирационной сети, что со временем может привести к разрегулировке и прекращению работы системы аспирации. Перспективным методом предотвращения образования пылевых отложений в воздуховодах систем аспирации является закрутка аспирационного потока [1].

Закрученный газовый поток характеризуется повышенной способностью приводить в движение и переносить твердые пылевидные частицы, что позволяет улучшить условия перемещения пылевидных материалов и предотвратить образование пылевых отложений в воздуховодах систем аспирации без внесения существенных изменений в аспирационную сеть и применения сложного и дорогостоящего оборудования. Однако внедрение систем аспирации с закрученными потоками в производство строительных материалов на настоящий момент сдерживается отсутствием необходимых технических решений, а также методов проектирования и расчета.

При проведении обратного аэродинамического расчета неразветвленных аспирационных и вентиляционных сетей, как правило, используется метод характеристик, суть которого состоит в решении системы уравнений, состоящей из аэродинамической

характеристики сети и напорной характеристики тягодутьевого устройства. При составлении уравнений используются общепринятые зависимости; поэтому применение метода характеристик для неразветвленных сетей не представляет затруднений.

Иначе обстоит ситуация с обратным аэродинамическим расчетом разветвленной сети. Сложности связаны с определением коэффициентов местного сопротивления тройников на проход и ответвление ввиду того, что их значения зависят от соотношения расходов в параллельных участках сети, определение которых как раз и является целью обратного аэродинамического расчета.

Согласно стандартной методике [2], коэффициенты местного сопротивления тройника на проход и ответвление $\xi_{\text{пр}}$ и $\xi_{\text{отв}}$ определяются на основании представленных в табличной форме экспериментальных данных как функция от разности диаметров прохода и ствола; разности диаметров ответвления и ствола; угла между проходом и ответвлением и соотношения расходов ответвления и ствола. Очевидно, что при обратном расчете изменяется только соотношение расходов, а конструктивные характеристики тройника постоянны; поэтому представляется рациональным в целях автоматизации расчета охарактеризовать к.м.с. тройников одномерными регрессионными зависимостями вида $\xi = f(L_o/L_c)$ для различных сочетаний конструктивных факторов. Практика показывает что данные, предлагаемые стандартной методикой для определения к.м.с. проходов и ответвлений для всех представленных сочетаний конструктивных факторов, адекватно аппроксимируются полиномами третьей степени вида $b_3 \cdot x^3 + b_2 \cdot x^2 + b_1 \cdot x + b_0$ [3].

Соответствующие зависимости, характеризующие потери давления на параллельных участках, имеют вид:

$$\Delta P_{\text{п}} = \frac{\rho}{2} \left(\frac{4L_{\text{п}}}{\pi d_{\text{п}}^2} \right)^2 \left(\frac{\lambda_{\text{п}}}{d_{\text{п}}} \cdot l_{\text{п}} + \sum \xi_{\text{с1}} \right) + \frac{\rho}{2} \left(\frac{4(L_{\text{п}} + L_{\text{о}})}{\pi d_{\text{с}}^2} \right)^2 \cdot \xi_{\text{пр}}, \quad (1)$$

$$\Delta P_{\text{о}} = \frac{\rho}{2} \left(\frac{4L_{\text{о}}}{\pi d_{\text{о}}^2} \right)^2 \left(\frac{\lambda_{\text{о}}}{d_{\text{о}}} \cdot l_{\text{о}} + \sum \xi_{\text{с2}} \right) + \frac{\rho}{2} \left(\frac{4(L_{\text{п}} + L_{\text{о}})}{\pi d_{\text{с}}^2} \right)^2 \cdot \xi_{\text{отв}}, \quad (2)$$

где $L_{\text{п}}$, $d_{\text{п}}$, $\lambda_{\text{п}}$, $\sum \xi_{\text{с1}}$ – соответственно расход, диаметр, коэффициент аэродинамического сопротивления и сумма к.м.с. на участке, присоединенном к «проходу» тройника, а $L_{\text{о}}$, $d_{\text{о}}$, $\lambda_{\text{о}}$, $\sum \xi_{\text{с2}}$ – соответственно то же для участка, присоединенного к «ответвлению»; $d_{\text{с}}$ – диаметр ствола; $\xi_{\text{пр}}$, $\xi_{\text{отв}}$ – соответственно к.м.с. прохода и ответвления тройника.

Ввиду того, что значение коэффициента аэродинамического сопротивления участка λ практически не изменяется при изменении расхода газа в процессе обратного аэродинамического расчета, оно принимается постоянной величиной и вычисляется для соответствующего участка исходя из условия равенства расходов прохода и ответвления ($L_{\text{п}} = L_{\text{о}}$).

Первые члены уравнений (1) и (2) выражаются в виде произведения динамического давления на сумму коэффициентов местных сопротивлений и приведенного коэффициента местного сопротивления по длине участка $\zeta_{\text{уч}} = \left(\frac{\lambda}{d_{\text{уч}}} l_{\text{уч}} + \sum \zeta_{\text{уч}} \right) = \text{const}$:

$$\Delta P_{\text{п}} = L_{\text{п}}^2 \frac{8\rho}{\pi d_{\text{п}}^4} \xi_{\text{с1}} + (L_{\text{п}} + L_{\text{о}})^2 \frac{8\rho}{\pi d_{\text{с}}^4} \cdot \xi_{\text{пр}}, \quad (3)$$

$$\Delta P_{\text{о}} = L_{\text{о}}^2 \frac{8\rho}{\pi d_{\text{о}}^4} \xi_{\text{с2}} + (L_{\text{п}} + L_{\text{о}})^2 \frac{8\rho}{\pi d_{\text{с}}^4} \cdot \xi_{\text{отв}}, \quad (4)$$

где $\xi_{\text{с1}}$, $\xi_{\text{с2}}$ – суммарные коэффициенты местных сопротивлений участков, присоединенных соответственно к притоку и ответвлению.

Из (3) и (4) следует, что в условиях обратного аэродинамического расчета переменными являются только величины расхода газа в ветвях сети L_n и L_o и коэффициент местного сопротивления тройника на проход и ответвление $\xi_{пр}$, $\xi_{отв}$. Пусть

$$\frac{8\rho}{\pi d_n^4} = A, \quad \frac{8\rho}{\pi d_o^4} = B, \quad \frac{8\rho}{\pi d_c^4} = C.$$

Тогда

$$\Delta P_n = L_n^2 A \xi_1 + (L_n + L_o)^2 C \cdot \xi_{пр}, \quad (5)$$

$$\Delta P_o = L_o^2 B \xi_2 + (L_n + L_o)^2 C \cdot \xi_{отв}. \quad (6)$$

При подстановке полиномиальных зависимостей, характеризующих $\zeta_{пр}$, $\zeta_{отв}$, в (5) и (6) имеем:

$$\Delta P_n = L_n^2 A \xi_1 + (L_n + L_o)^2 C \cdot \left(a_3 \left(\frac{L_o}{L_n + L_o} \right)^3 + a_2 \left(\frac{L_o}{L_n + L_o} \right)^2 + a_1 \left(\frac{L_o}{L_n + L_o} \right) + a_0 \right), \quad (7)$$

$$\Delta P_o = L_o^2 B \xi_2 + (L_n + L_o)^2 C \cdot \left(b_3 \left(\frac{L_o}{L_n + L_o} \right)^3 + b_2 \left(\frac{L_o}{L_n + L_o} \right)^2 + b_1 \left(\frac{L_o}{L_n + L_o} \right) + b_0 \right), \quad (8)$$

где a_i и b_i – соответствующие коэффициенты уравнений регрессии, характеризующих коэффициенты местного сопротивления тройника на проход и ответвление.

Поскольку суммарный расход (расход в стволе) задается на стадии, предшествующей обратному расчету, величина $L_c = L_n + L_o$ является постоянной. Заменяя суммарный расход параллельных участков расходом ствола и раскрывая скобки, имеем:

$$\Delta P_n = L_n^2 A \xi_1 + L_c^{-1} C a_3 L_o^3 + C a_2 L_o^2 + L_c C a_1 L_o + L_c^2 C \cdot a_0, \quad (9)$$

$$\Delta P_o = L_o^2 B \xi_2 + L_c^{-1} C b_3 L_o^3 + C b_2 L_o^2 + L_c C b_1 L_o + L_c^2 C \cdot b_0, \quad (10)$$

где L_c – расход газа в «стволе».

Приравняв зависимости (9) и (10), характеризующие аэродинамическое сопротивление параллельных участков, выразив расход прохода через расход ответвления и сгруппировав члены уравнения по степеням расхода L_o , получим следующее уравнение:

$$L_n^2 = L_o^3 \left(\frac{L_c^{-1} C b_3 - L_c^{-1} C a_3}{A \xi_1} \right) + L_o^2 \left(\frac{B \xi_2 + C b_2 - C a_2}{A \xi_1} \right) + L_o \left(\frac{L_c C b_1 - L_c C a_1}{A \xi_1} \right) + \frac{L_c^2 C b_0 - L_c^2 C a_0}{A \xi_1}. \quad (11)$$

Так как сумма расходов прохода и ответвления составляет постоянную величину (расход ствола) и задана на начальном этапе расчета, расход прохода может быть выражен как разность расхода ствола и расхода ответвления. При этом имеем:

$$(L_c - L_o)^2 = k_3 L_o^3 + k_2 L_o^2 + k_1 L_o + k_0, \quad (12)$$

где

$$k_3 = \left(\frac{L_c^{-1} C b_3 - L_c^{-1} C a_3}{A \xi_1} \right); \quad k_2 = \left(\frac{B \xi_2 + C b_2 - C a_2}{A \xi_1} \right),$$

$$k_1 = \left(\frac{L_c C b_1 - L_c C a_1}{A \xi_1} \right); \quad k_0 = \frac{L_c^2 C b_0 - L_c^2 C a_0}{A \xi_1},$$

или

$$k_3 L_o^3 + (k_2 - 1) L_o^2 + (k_1 + 2 L_c) L_o + (k_0 - L_c^2) = 0. \quad (13)$$

Для удобства решения полученного уравнения оно путем почленного деления постоянных коэффициентов на k_3 приводится к следующему виду:

$$L_0^3 + K_2 L_0^2 + K_1 L_0 + K_0 = 0, \quad (14)$$

где
$$K_2 = \left(\frac{d_0^4 \xi_2 + d_c^4 (b_2 - a_2)}{d_n^4 \xi_1} - 1 \right) / \left(\frac{d_c^4 \cdot (b_3 - a_3)}{L_c d_n^4 \xi_1} \right); \quad (15)$$

$$K_1 = \left(\frac{L_c d_c^4 (b_1 - a_1)}{d_n^4 \xi_1} + 2L_c \right) / \left(\frac{d_c^4 (b_3 - a_3)}{L_c d_n^4 \xi_1} \right); \quad (16)$$

$$K_0 = \left(\frac{L_c^2 d_c^4 (b_0 - a_0)}{d_n^4 \xi_1} - L_c^2 \right) / \left(\frac{d_c^4 (b_3 - a_3)}{L_c d_n^4 \xi_1} \right). \quad (17)$$

Оценка полученного уравнения (14) с учетом величины его коэффициентов, определяемых по формулам (15), (16), (17), показывает, что во всех случаях уравнение имеет два комплексно-сопряженных и один действительный корень, являющийся, очевидно, искомым значением расхода в ответвлении L_0 . Значение L_n при этом определяется как разность расхода ствола и полученного расхода в ответвлении.

В ы в о д ы :

1. Внедрение систем аспирации с закрученными потоками, позволяющими предотвратить образование пылевых отложений в воздуховодах, в настоящий момент сдерживается из-за отсутствия методов прямого и обратного аэродинамического расчета.

2. Применение зависимостей, характеризующих соотношение коэффициентов аэродинамического сопротивления осевого и закрученного потоков в зависимости от осредненной интенсивности закрутки потока, позволяет использовать метод характеристик для проведения прямого и обратного аэродинамического расчета аспирационных сетей.

3. При использовании полиномов третьей степени можно адекватно аппроксимировать значения коэффициентов местного сопротивления тройников-закручивателей, обратный аэродинамический расчет параллельных участков сводится к решению уравнения третьей степени.

Список литературы

1. Применение закрученных потоков в системах аспирации строительной отрасли / В.Н.Азаров, Д.П. Боровков // Объединенный научный журнал. – 2003. – №5 (63). – С. 102–104.
2. Внутренние санитарно-технические устройства: в 3 ч. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха / В.Н. Богословский [и др.]; под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1992. – (Справочник проектировщика). – 392 с.
3. Об обратном аэродинамическом расчёте разветвлённых систем аспирации / В.Н. Азаров, А.О. Юдочкина, Д.П. Боровков // Объединённый научный журнал. – 2006. – №14. – С.40–43.

References

1. The use of a vortex flow in the aspiration system of the construction industry / V.N. Azarov, D.P. Borovkov // Joint Research magazine. – 2003. – № 5 (63). – P. 102–104.
2. Domestic plumbing devices: in 3 hours. Part 3. Ventilation and Air Conditioning / V.N. Bogoslovskiy [and others]; ed. N.N. Pavlova and Y. Schiller. – 4-th ed., Rev. and add. – M.: Stroyizdat, 1992. – (Handbook of the designer). – 392 p.
3. Inverse aerodynamic calculations branched aspiration systems / V. Azarov, A.O. Yudochkina, D.P. Borovkov // Joint Research magazine. – 2006. – № 14. – P.40-43.

АРХИТЕКТУРА

ARCHITECTURE

УДК 711.73

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства
Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Мазявкина Виктория Дмитриевна,
аспирант кафедры «Градостроительство»
E-mail: vikok@yandex.ru

Круглов Юрий Васильевич,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Градостроительство»
E-mail: uv_kruglov@mail.ru

Penza State University of Architecture
and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Mazyavkina Victory Dmitrievna,
Postgraduate of the department «Urbanistics»
E-mail: vikok@yandex.ru

Kruglov Yuriy Vasilevich,
Candidate of Science,
Professor of the department «Urbanistics»
E-mail: uv_kruglov@mail.ru

ЭКСПРЕСС-МЕТОД РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ГОРОДА

В.Д. Мазявкина, Ю.В. Круглов

Предлагается методика поэтапного сравнения геометрических схем уличной сети города с использованием коэффициента непрямолинейности и введения двух градостроительных показателей, характеризующих факторы населения и места приложения труда.

Ключевые слова: транспортная сеть, коэффициент непрямолинейности сети, место приложения труда, расселение населения.

RAPID CALCULATING METHOD OF CITY TRANSPORT NETWORK EFFICIENCY

V.D. Mazyavkina, Y.V. Kruglov

The authors offer a method of phase comparison of city street network geometry using coefficient of nonlinearity and introducing two urban factors – population, and place of work.

Keywords: transport network, coefficient of nonlinearity networks, work place, resettlement of the population.

Транспортная сеть является одной из важнейших систем города, которая связывает воедино его территории. Эффективность сети оценивается по времени доступности основных мест тяготения населения. Ее обеспечивают многие факторы, основные из них: оптимальная плотность улично-дорожной сети, прямолинейность связей. Кроме того, эффективность транспортной структуры города оценивают с точки зрения ее геометрии. Чем больше город, тем больше территория, сложнее рельеф, более неравномерные связи, поэтому мала вероятность встретить ту или иную схему в чистом виде, большее распространение получили комбинированные системы улиц и дорог. Тем не менее по характеру преобладающих элементов основной приём планировки выделить несложно. Существует несколько общепринятых геометризованных схем тран-

спортивной структуры города: радиальная, прямоугольная, радиально-кольцевая, прямоугольно-диагональная. Для того чтобы объективно оценить преимущества и недостатки той или иной планировки, необходимо дать количественную характеристику показателей каждой из схем. К основным показателям, характеризующим геометрию уличной сети города, относят: плотность улично-дорожной сети (определяется отношением длины сети к площади обслуживаемой территории: $\delta=L_c / F$); коэффициент непрямолинейности сети (определяется отношением суммы расстояний между основными пунктами города по уличной сети к сумме расстояний между теми же пунктами по воздушной прямой: $\gamma=\Sigma l_{\phi} / \Sigma l_B$); среднюю длину поездки; среднюю удаленность от центра по сети; степень загрузки центрального транспортного узла; наличие дублирующих путей; общую протяженность транспортной сети.

Ниже рассмотрены 4 схемы с примерно равными плотностью сети и площадью города, для них рассчитаны основные показатели систем построения сети магистральных улиц при условии равномерного расселения населения и наличия равновероятных корреспонденций (поездок между двумя точками города) (табл.1).

Т а б л и ц а 1

Сравнительные показатели теоретических систем построения сети магистральных улиц

Показатели	Схемы			
	Радиальная	Радиально-кольцевая	Прямоугольная	Прямоугольно-диагональная
1	2	3	4	6
Площадь города, км ²	68	64	64	64
Общее кол-во корреспонденций	144	144	144	144
Плотность сети, км/км ²	0,80	1	1	1,09
Коэффициент непрямолинейности	1,67	1,13	1,19	1,13
Общая длина всех магистралей, км	51,15	64	64	70
Средняя удаленность от центра по сети, км	4,65	4,9	5,3	5,17
Средняя длина поездки, км	8,58	5,7	6,9	7,1
Количество поездок через центр, %	100	32	3	35

Радиально-кольцевая и прямоугольно-диагональная схемы имеют наименьшие коэффициенты непрямолинейности сети, радиальная характеризуется самыми плохими показателями непрямолинейности сообщений и средними по протяженности проезда. Более того, в данной схеме все корреспонденции проходят через центр, что неприемлемо.

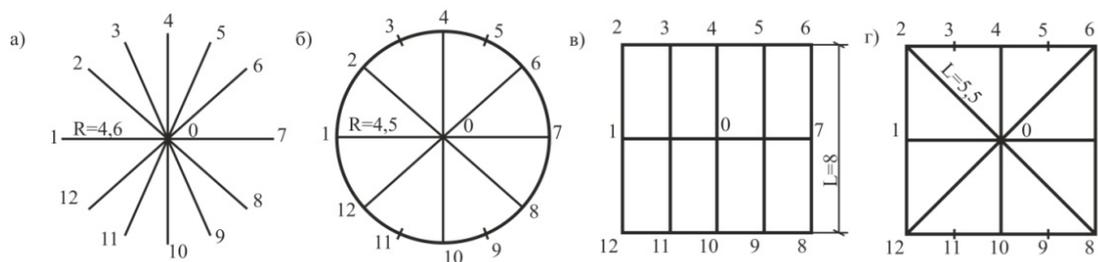


Рис. 1. Схемы магистралей с указанием узловых точек:

а – радиальная; б – радиально-кольцевая; в – прямоугольная; г – прямоугольно-диагональная

Рассмотрим изменение одного из важнейших показателей эффективности транспортной сети – коэффициента непрямолинейности сообщений – после ввода нового градостроительного фактора – населения.

Общая численность населения города принята 29 тыс. чел., в том числе в центре – 3 тыс. чел., в двух периферийных районах – по 8 тыс. чел., в остальных – по 1 тыс. человек. Далее рассмотрим несколько вариантов концентрации населения в двух периферийных узловых точках.

Для каждого варианта рассчитан средневзвешенный коэффициент непрямолинейности:

$$\rho = \frac{\rho_{1-2}P_{1-2} + \rho_{1-3}P_{1-3} + \dots + \rho_{\tau j}P_{\tau j}}{\sum_{\tau=1}^j P} \quad (1)$$

где ρ – средневзвешенный коэффициент непрямолинейности; $\rho_{\tau j}$ – коэффициент непрямолинейности при передвижении между пунктами τ и j ; $P_{\tau j}$ – мощность пассажиропотока между соответствующими пунктами.

Результаты расчета приведены в табл. 2, точками показана концентрация населения в узлах.

Т а б л и ц а 2

Показатель коэффициента непрямолинейности в различных системах магистралей транспортной сети при различных вариантах расселения населения при условии, что все корреспонденции равновероятные

Системы магистралей	Показатель коэффициента непрямолинейности					
	очень малый (1,10)	малый (1,11-1,15)	умеренный (1,16-1,20)	высокий (1,21-1,25)	очень высокий (1,26-1,30)	исключительно высокий (более 1,31)
Прямоугольная	–	–			–	–
Прямоугольно-диагональная				–	–	–
Радиальная	–	–	–	–	–	
Радиально-кольцевая				–	–	–

При сравнении значений коэффициента непрямолинейности (см. табл. 1 и 2) выявлено следующее: при введении в прямоугольную схему показателя населения коэффициент практически не изменился, в прямоугольно-диагональной и радиально-кольцевой схемах в некоторых случаях улучшился, снижаясь в среднем до 1,11, а в радиальной схеме в более половине случаев ухудшился, достигая 1,82.

Далее рассмотрено несколько вариантов размещения мест приложения труда (МПТ) в центре и в узлах на периферии:

– узел 1; – узел 2;

– узел 3; – узел 4.

Рассчитан средневзвешенный коэффициент непрямолинейности поездки до данной точки в рассмотренных выше вариантах расселения населения. Некоторые из результатов расчета представлены в табличной форме (табл. 3).

Показатель коэффициента непрямолинейности связи с МПТ
в различных системах магистралей транспортной сети при различных вариантах
расселения населения

Системы магистралей	Показатель коэффициента непрямолинейности связи с МПТ, расположенного в узле 0 (центр)					
	очень малый (1,10)	малый (1,11-1,15)	умеренный (1,16-1,20)	высокий (1,21-1,25)	очень высокий (1,26-1,30)	исключительно высокий (более 1,31)
1	2	3	4	5	6	7
Прямоугольная		-	-	-		
Прямоугольно-диагональная		-		-	-	-
Радиальная		-	-	-	-	-
Радиально-кольцевая		-	-		-	-
	Показатель коэффициента непрямолинейности связи с МПТ, расположенного в узле 1					
Прямоугольная	-		-	-		
Прямоугольно-диагональная		-	-			-
Радиальная	-	-	-		-	
Радиально-кольцевая			-	-	-	-

В прямоугольной схеме нельзя выделить какое-либо преимущественное расположение МПТ, так как при любом варианте имеются как высокие, так и низкие показатели, но лучшие оказались там, где МПТ расположено на одном направлении магистрали вместе с местом проживания населения или в точках его концентрации.

В прямоугольно-диагональной схеме очень мал коэффициент непрямолинейности при расселении населения в диагональных точках, как и при первом расчете, остальные схемы концентрации населения так же нестабильны, как и при прямоугольной планировке сети улиц. Лучшие показатели отмечены при размещении МПТ в узле 0 и 2. Следовательно, прямоугольно-диагональная схема не всегда является наиболее эффективной с точки зрения прямолинейности связи по сравнению с прямоугольной схемой.

Введение МПТ в центре радиальной схемы снижает коэффициент непрямолинейности до самого минимального значения, но при всех других вариантах размещения МПТ коэффициент ρ завышается до неприемлемых показателей, достигая даже 2,65.

В радиально-кольцевой схеме все показатели по вариантам размещения населения при введении МПТ более стабильны, чем в остальных схемах, и варьируются от очень малого до умеренного, за исключением двух случаев. Как и в прямоугольно-диагональной схеме, самыми лучшими показателями характеризуется вариант размещения населения в диагональных точках, а МПТ – в узлах 1, 2, 4.

По результатам всех расчетов можно сделать вывод, что радиальная схема имела наивысшие показатели непрямолинейности связи, и ее использование возможно только в малых городах. Наиболее эффективной из всех схем является радиально-кольцевая планировка улиц.

При выборе геометрических элементов улично-дорожной сети и на основании результатов расчета возможно предварительное определение наиболее эффективного (по прямолинейности сообщений) размещения МПТ и населения в планировке города. При правильном выборе варианта размещения объектов людского тяготения при любой схеме (кроме радиальной) можно добиться эффективной работы транспортной сети. Для этого необходимы предварительные расчеты прямолинейности сообщений с учетом мощности и направления пассажиропотока между узлами сети.

Использование показателя непрямолинейности сети при определении эффективности работы существующих транспортных систем и определении основных направлений реконструкции улично-дорожной сети применялось при разработке генерального плана городского округа Козьмодемьянск республики Марий Эл в 2011 г. Расчеты средневзвешенного коэффициента непрямолинейности между основными местами приложения труда и размещением населения относительно МПТ применялись при обосновании проектирования новой магистрали в г. Кузнецке Пензенской области.

Список литературы

1. Черепанов, В.А. Транспорт в планировке городов / В.А. Черепанов. – М.: Стройиздат, 1970. – 303 с.
2. Методические указания по проектированию сетей общественного транспорта, улиц и дорог. – М.: Государственный комитет по гражданскому строительству и архитектуре при Госстрое СССР. Центральный научно-исследовательский и проектный институт по градостроительству. 1968. – Вып. I. – 125 с.

References

1. Cherepanov, V.A. Transport in urban planning / V.A. Cherepanov. – M.: Stroiizdat, 1970. – 303 p.
2. Methodical guidelines for design of public transport networks, roads and streets. – M.: The State Committee for Civil Engineering and Architecture of the USSR State Construction. Central Research and Design Institute for Urban Planning, 1968.– Issue I. – 125 p.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Гуляева Татьяна Петровна,
кандидат культурологии, доцент кафедры
«Иностранные языки»
E-mail: guljaeva@mail.ru

Гринцова Ольга Васильевна,
кандидат филологических наук, доцент,
зав. кафедрой «Иностранные языки»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Guljaeva Tatjana Petrovna,
Candidate of Culturology, Associate Professor
of the department «Foreign languages»

Grintsova Olga Vasilyevna,
Candidate of Philology, Associate Professor,
Head of the department «Foreign languages»

РАЙНЕР МАРИЯ РИЛЬКЕ ОБ ИСКУССТВЕ СКУЛЬПТУРЫ (ОГЮСТ РОДЕН)

Т.П. Гуляева, О.В. Гринцова

Рассматриваются важнейшие составляющие художественного творчества Родена и связанные с ними проблемы одиночества, а также трудолюбия, близости к природе и т.д. Данный материал представляет интерес для преподавателей изобразительного цикла дисциплин (архитектура, дизайн и т.д.).

Ключевые слова: скульптура, красота в искусстве, импрессионизм, диалог культур, покорение пространства.

R.M.RILKE ABOUT THE ART OF SCULPTURE (OGUST RODEN)

T.P. Guljaeva, O.V. Grintsova

The article touches the question of creative activity on the basis of Roden's art, which is closely connected with loneliness, hardworking, closeness to nature. The article is of interest for teacher's of art disciplines (architecture, design, etc.).

Keywords: sculpture, beauty and art, impressionism, culture dialogue, space taming.

Книга Райнера Марии Рильке «Роден», впервые опубликованная в 1903 г., затем, в дополненном виде, в 1907 г., до сих пор остается одной из лучших о французском скульпторе, которого считают великим реформатором искусства скульптуры Нового времени.

Книга Рильке – глубокое философско-культурологическое эссе о смысле художественного творчества. Здесь не рассматривается подробно биография героя, задача автора иная – философско-культурологическое осмысление жизни Родена, которую он интерпретирует как путь к себе, к сотворению своей личности, к своим шедеврам.

Основа творчества Родена – постоянная работа. Сам скульптор говорил: «Труд ведет к счастью. Даже больше того: он, может быть, ведет к лицезнению Бога сквозь его покровы» [2, с. 264–265]. Рильке пишет о нем: «Когда-нибудь поймут, отчего этот великий художник стал таким великим: оттого, что он был тружеником» [1, с. 48]. Вместе с тем труд Родена – это не просто труд ремесленника: для художника необходима любовь, страсть к искусству, вдохновение.

Для Рильке творчество – прежде всего одиночество, и Роден – пример «одинокого» художника. Поэт подчеркивает, что путь гения к признанию часто бывает тернистым: художнику довелось испытать немало трудностей, враждебность общественного мнения. Привычка жить и творить в одиночестве, доверяя только себе, постепенно

«идя к себе», без оглядки на чье-либо стороннее, «авторитетное» мнение позволила ему оставаться самим собой, выстоять в трудные периоды, когда его не понимали и не принимали: «Может быть, как раз благодаря тому, что все его развитие шло само по себе в нерушимой тишине, сохранял он могучую уверенность впоследствии, когда о нем спорили, когда противоречили его творению. Когда в нем начали сомневаться, он уже не сомневался в себе. ... От отклика или приговора толпы не зависела больше его судьба ...» [1, с. 14–15]. Это высказывание Рильке перекликается с роденовским наставлением молодым скульпторам: «Не поддавайтесь тем, чью критику ваше сознание отвергает» [2, с. 56].

Рильке подчеркивает близость подлинного гения к природе: от творит тихо, спокойно, без надрыва, естественно – как творит природа: «... Есть в Родене темное терпение, делающее его почти безмянным, тихая, неодолимая выдержка, нечто, подобное великому терпению и доброте природы...» [1, с. 10]. Впоследствии сам Роден в «Завещании» писал: «Пусть Природа будет вашим единственным божеством. Верьте ей абсолютно» [2, с.52].

Рильке рассматривает творчество Родена в контексте мировой культуры, впервые возведя этого современного художника на одну ступень с великими мастерами прошлого.

После великих взлетов античности и Ренессанса скульптура стала занимать более скромное место в ряду искусств. Роден явился великим реформатором скульптуры, признанным эпохой. Творчество Родена неразрывно связано с традициями европейского изобразительного искусства и архитектуры, в своем «Завещании» он писал: «Преданно любите мастеров, что предшествовали вам. Склонитесь перед Фидием и Микеланджело...» [2, с.51]. Он воспитывался на антиках Лувра, химерах готических соборов (в книге «Французские соборы» он с огромной любовью описывает соборы старинных французских городов), скульптуре Ренессанса. На его раннее творчество оказала определенное влияние «даже плохая скульптура французской традиции» [1, с.35]. Один из рисунков тушью – «Человек с быком» – заставляет вспомнить о Рембрандте, другие – «Граждане Кале» – о Донателло, о Клаусе Слутере с его пророками из Дижонского аббатства, могучий контур фигуры Бальзака «предвосхищен могильными камнями давно отживших народов» [1, с. 11]. При этом Роден никогда не копирует, не повторяет, а творчески преобразует опыт прошлого, «превышает» его. Не случайно сам мастер подчеркивал: *«Живое искусство не реставрирует произведений прошлого, оно их продолжает... Для моих современников я – мост, соединяющий два берега, прошлое и настоящее»* [2, с. 224, 243].

Рильке акцентирует значение артистической маэстрии, мастерства, техники в творчестве Родена. «Упражняйтесь, неустанно. Необходимо приобрести навыки ремесла» [2, с. 53], – завещал мастер молодым. Подлинная красота в искусстве, согласно убеждению поэта, приходит только на основе отточенности мастерства: «Его искусство строилось... на скромном, добросовестном осуществлении, на постижимом, на умении» [1, с. 12]. В то же время поэт прослеживает важность интеллектуального развития Родена, подчеркивая, что он много читал: «... Привыкли видеть его на улицах всегда с книгой в руке» [1, с. 13], но это чтение не формировало мировоззрение художника, а лишь дополняло его: «может быть, книга служила лишь предлогом для того, чтобы углубиться в себя, в невероятную задачу, которая ему предстояла» [1, с. 13]. Его любимые поэты – Данте и Бодлер, но их воздействие – не влияние, а осознанное созвучие близости, узнавание своего: «... Их образы восстали в нем, мучительные и реальные, как воспоминания из его собственной жизни, и вошли в его создание, словно возвращаясь к себе на родину...» [1, с. 14]. Прочитав «Божественную комедию» Данте, которая стала для него откровением, «он видел перед собой «страждущие тела иного племени ... Тут имелись картины как раз по нему, и, читая о плачущих ногах папы Николая III, Роден уже знал, что можно плакать всем телом, когда слезы выступают изо всех пор» [1, с. 13]. Сотни фигур и групп возникли в результате роденовского восприятия образов Данте. Но это было не просто отражение мира Данте средствами другого искусства, это была интерпретация художником другой эпохи, что

«превышало» этот мир: «... Движения, обретенные в словах поэта, принадлежали другой эпохе; они пробудили в творце, воскресившем их, его знание о тысячах других жестов, жестов захватывания, утраты, страдания и отречения, ... и его руки ... шли дальше, превышая мир флорентийца, к новым и новым жестам и образам» [1, с. 25]. Иначе, чем Данте, Роден воспринимает своего современника Бодлера: «Тут не было суда, не было поэта, рука об руку с тенью поднимающегося к небу, – человек, один из страждущих, возвысил свой голос над головами других, словно для того, чтобы спасти их от гибели. И в этих стихах попадались места, выступающие из книги, не написанные, а как бы изваянные, ... чувствующие себя рельефами...» [1, с. 14-15].

Книга Рильке – замечательное эстетико-искусствоведческое исследование. При этом автор не стремится определить стилистическую принадлежность творчества художника, наметить его стилистическую эволюцию. Тем не менее он, как бы «между прочим», не акцентируя, и вместе с тем как само собою разумеющееся, делает чрезвычайно важное замечание: «...Неправы те, кто считает его пластическое искусство разновидностью импрессионизма...» [1, с. 32]. Рильке считает, что близость Родена к импрессионизму проявляется только в его рисовальных «приготовлениях» к созданию скульптуры: «... Множество впечатлений, зафиксированных точно и смело, составляет огромное богатство», однако Роден не останавливается на фиксации впечатлений, как это делают импрессионисты (и в живописи, и в скульптуре), а «в конце концов извлекает важное и необходимое, обобщая его в зрелом синтезе» [1, с. 32]. Такой принцип работы, по нашему мнению, противоположен установкам импрессионистов и характеризует постимпрессионистов, символистов.

Рильке впервые рассматривает творчество Родена не как сумму отдельных произведений, но как целостность, доказывая, что каждое является неотъемлемой частью созданного им художественного мира. Одно произведение дополняет другое и может быть адекватно интерпретировано только в контексте всех созданных скульптур. Все творчество Родена – это незавершенный, растущий мир, единое произведение, «творение» [1, с. 5]. Целостность этого художественного мира обуславливает выделенный Рильке «первоэлемент» искусства Родена, «неделимая клетка его мира», материал его искусства – поверхность, «из которой можно сделать все» [1, с. 12]. Поверхность в скульптуре Родена – это его способ восприятия и выражения жизни.

Роден – скульптор, стремящийся преодолеть изначальную статичность своего искусства. Одно из главных художественных и философских открытий, которое он делает (впервые – маска «Человек со сломанным носом») – отсутствие и невозможность покоя в природе, в человеке, в искусстве, в том числе в скульптуре, которая традиционно рассматривалась как самое «спокойное» искусство. Когда Роден создавал маску, «перед ним спокойно сидел человек со спокойным лицом. Но это было лицо живого, ... и он обнаружил, что оно полно движения, полно беспокойства... Покоя не было, не было и в смерти, ибо в распаде, который тоже движение, покойник еще принадлежал жизни. В природе имелось только движение, и искусству, стремящемуся добросовестно и верно истолковать жизнь, не подобало делать своим идеалом покой, которого нигде нет» [1, с. 17-18]. Но скульптура не просто передает движение, она определенным образом замыкает, ограничивает его. Как бы много динамики ни выносилось в скульптурный образ, он в то же время и осязаемо веществен, не подвержен стихии переменчивости: «Каким интенсивным ни было бы движение скульптурного произведения, оно должно ... возвратиться, и должен замкнуться великий круг, круг уединения, в котором проводит свои дни художественный предмет» [1, с. 18]. «Дух скульптуры» проявляется не только непосредственно в искусстве ваяния, но и в других пластических искусствах, когда они следуют этому закону: «Скульптором был тот Леонардо, который наделил Джоконду этой неприступностью, этим движением, направленным внутрь, этим неуловимым взглядом ...» [1, с. 18-19].

Рильке подчеркивает, что само по себе движение в скульптуре – не новшество, обновился лишь его характер, к которому свет притягивается особым свойством поверхностей. Важнейший этап развития Родена – «завоевание света». Камни у него «излучают свой собственный свет»; скульптору доступна «вся шкала теней». И это

«присвоение и усвоение света» Роден признал существеннейшим свойством пластики. Подчинением света началось другое великое завоевание Родена – «покорение пространства», которое подарило его вещам облик, своеобразное величие, независимое ни от каких изменений.

Еще одно открытие Родена – постепенный отход от сюжетности в скульптуре. Как известно, мастер не смог отказаться от сюжета полностью. (Так, при ближайшем рассмотрении «Весны» (объятия влюбленных) мы обнаруживаем в руке юноши открытую, но уже отбрасываемую в сторону книгу, и вспоминаем «И в этот день мы больше не читали...» – и «Весна» предстает не экзерсисом на эротическую тему, поскольку оказывается, что изображенные – это герои Данте – Паоло и Франческа). Роден еще не полностью отошел от «литературности» в скульптуре, но именно он задал в качестве главной траектории развития скульптуры ориентацию на «забвение и преобразование сюжетного импульса»: «Сюжет у Родена никогда не привязан к художественному предмету, как животное к дереву. Он живет неподалеку от предмета, он живет им и при нем ...» [1, с. 30].

«Период созревания» Родена знаменуют два произведения: начало означено головой «Человека со сломанным носом», конец – образом «Человека ранних времен». В первом (1864) Роден «открывает» человеческое лицо [1, с. 19]. Здесь искусство Родена бросило вызов предписаниям академической красоты [1, с. 15]. Работа была отклонена Салоном, поскольку там «царила скульптура модели, поз, аллегорий – легкое, дешевое, удобное ремесло, довольствующееся более или менее умелым повторением нескольких канонизированных жестов» [1, с. 16]. В отличие от безжизненных академических произведений, скульптура Родена потрясает «избытком жизни»: на этом лице отсутствуют пустые, немые или незначительные места, симметричные поверхности, каждая черта неповторима. Рильке обращает внимание на «многоголосие», «многоголосую муку» лица: «... Ошеломляет беспрестанное изменение профилей, среди которых нет ни одного случайного, приблизительного или неопределенного» [1, с. 17–18]. Поэт подчеркивает масштабность роденовской концепции личности, представление о космической значимости человеческой судьбы, страданий: «...Так много тяжелой безымянной жизни излучает это творение» [1, с. 17].

Следующее открытие Родена – новое открытие человеческого тела: «Язык скульптуры – тело. А это тело, когда видели его в последний раз? Слой за слоем накладывались на него костюмы, ... но под защитой этих оболочек его изменяла растущая душа...» [1, с. 9]. Академическая скульптура пыталась копировать античный телесный канон, но человеческое тело существенно изменилось, так же, как изменился, усложнился внутренний мир человека: «Тело стало другим. ... Оно содержало бы, может быть, тысячи выражений для всего того нового, безымянного, что накопилось за то время, и для тех древних тайн, которые, всплывая из подсознания, словно чуждые речные боги, поднимали в шуме крови свои мокрые лица. ... Жизнь держала его в своих руках, работала над ним, прислушиваясь к нему, шлифовала его день и ночь. ... А скульптура, его обладательница, все еще не знала его» [1, с. 9]. Показать это новое тело, которое выражает глубины человеческой души – вот задача, которая стояла перед искусством скульптуры и с которой смог справиться гений Родена.

«Человек ранних времен» демонстрирует власть Родена над человеческим телом: «... Жизнь не только одинаково могуча во всех его точках – повсюду она как будто наделена одинаковой силой выражения. То, что стояло на лице, та же самая боль тяжело-го пробуждения и одновременно жажда тягот была написана на этом теле...» [1, с. 19]. По мнению Рильке, этот образ знаменателен тем, что возвещает новое рождение жеста в творчестве Родена: «Жест, произрастающий и постепенно развившийся до такой силы и величия, здесь он пробился родником, тихо стекающим по телу» [1, с. 20]. Новый жест раскроется чуть позже в скульптуре «Идущий», изображающей Иоанна Крестителя, в «Гражданах Кале», в статуе Бальзака, в «Еве». Естественные и свободные положения фигур, новые жесты, не известные скульптуре более раннего времени, отражают богатство внутренней жизни современного человека.

Рильке подчеркивает, что значение Родена как реформатора искусства связано и с его новым пониманием красоты в искусстве: прекрасным может быть и изображение безобразного, если оно художественно совершенно. «Человек со сломанным носом» резко отличается от канонов академической красоты выбором модели: Роден изображает не молодого и красивого, а стареющего безобразного человека с изувеченным носом. Но его внешнее безобразие лишь усиливает выразительность лица, подчеркивает глубину страданий, «работая» на образ. В этом, по мнению Рильке, сказывается «его доверие к жизни, творящей даже тогда, когда она уродует» [1, с. 33]. То, что согласно нормам классической эстетики не могло быть включено в сферу прекрасного – страдания, боль, смерть, – в современном искусстве становится таковым, поэтому прекрасное, красота может быть не только «захватывающей», но и «жуткой» [1, с. 37]. Сам Роден в «Завещании» писал о том, что природа «никогда не бывает безобразной»: «Для художника прекрасно все, поскольку во всем сущем его взгляд обнаруживает характер, то есть внутреннюю правду, проступающую сквозь форму. А в ней-то и кроется красота. Изучайте ее с религиозным тщанием, и вы не упустите найденной красоты, так как встретите правду» [2, с. 52].

Список литературы

1. Рильке, Р.М. Огюст Роден / Р.М.Рильке. – СПб., 2002.
2. Роден, О. Завещание / О. Роден. – СПб., 2002.

References

1. Rilke, R.M. Roden /R.M.Rilke. – SPb., 2002.
2. Roden, O. The Will /O.Roden. – SPb., 2002.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 640.6(-87)

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства
Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Хаметов Тагир Ишмуратович,
доктор экономических наук, профессор
кафедры «Землеустройство и геодезия»
Тел.: 8-927-360-73-05

Букин Сергей Николаевич,
аспирант кафедры «Землеустройство
и геодезия»
Тел.: 8-927-097-59-41
E-mail: sergei.abcdefgh@yandex.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*
Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Khametov Tagir Ishmuratovich,
Doctor of Economic Sciences, Professor of the
department «Land use and geodezy»
Tel: 8-927-360-73-05

Bukin Sergey Nicolaevish,
Postgraduate of the department «Land use and
geodezy»
Tel.: 8-927-097-59-41
E-mail: sergei.abcdefgh@yandex.ru

АНАЛИЗ ПРАКТИКИ В СФЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Т.И. Хаметов, С.Н. Букин

Представлена классификация глобальных факторов, оказывающих влияние на функционирование жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) в современных государствах. Проанализированы системы управления объектами ЖКХ развитых западных государств. Проведено сравнение расходов на ЖКХ стран Евросоюза и России. Предложены основные направления развития системы управления объектами ЖКХ России.

Ключевые слова: классификация факторов, система управления объектами ЖКХ, финансирование ЖКХ, эффективность управления.

ANALYSIS OF PRACTICE IN HOUSING AND COMMUNAL SERVICE MANAGEMENT

T.I. Khametov, S.N. Bukin

Classification of global factors affecting the performance of housing and communal services (HCS) in modern states is presented. Management (control) systems of housing and communal services in developed western countries are analyzed. Expenses on HCS in the countries of European Community and Russia are compared.

The main trends of the management system development for HCS in Russia are proposed.

Keywords: classification of factors, the control system of housing facilities, housing finance, management efficiency.

Введение

В настоящее время все сферы экономики России, в том числе и жилищно-коммунальное хозяйство, находятся под влиянием глобальных тенденций. Сырьевая ориентация народного хозяйства РФ, неравномерное распределение доходов по группам населения, высокий уровень инфляции, монополизм в ряде секторов эконо-

мики, коррупция снижают конкурентоспособность и обуславливают периферийное положение нашей страны в мировой экономической системе.

В целях снижения воздействия негативных глобальных факторов на развитие системы управления объектами ЖКХ России проводились исследования мировых тенденций, присущих данной сфере, изучался положительный опыт зарубежных стран, определялись приоритетные направления развития коммунального сектора РФ.

Анализ зарубежного опыта в сфере управления объектами жилищно-коммунального хозяйства

Анализ зарубежной литературы [1, 4, 5] позволяет классифицировать факторы, оказывающие влияние на государственный сектор в целом (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Классификация факторов, оказывающих влияние на ЖКХ

Группа факторов	Характеристика
Макроэкономические	1) Появление новых мировых экономических центров (стремительное развитие азиатских государств) 2) Появление новых групп потребителей и повышение требований к качеству услуг 3) Движение финансовых потоков
Организационно-экономические	1) Развитие международных ассоциаций и партнеров сервисных организаций и потребителей жилищно-коммунальных услуг. Работа в сфере ЖКХ как государственных, так и частных компаний 2) Появление трансконтинентальных корпораций 3) Новые подходы к управлению организациями: новейшие информационные и коммуникационные технологии; максимальная адаптация к изменениям внешней среды и быстрая реакция на эти изменения; максимальная гибкость структуры; способность к самореорганизации и др.
Социальные	1) Старение населения в развитых странах 2) Увеличение расходов на пенсии и медицинское обслуживание 3) Миграции квалифицированных и неквалифицированных кадров
Технологические	1) Внедрение новых технологических решений в производственных процесс 2) Использование новых материалов 3) Ускоренная модернизация инфраструктуры 4) Рост производительности труда
Ресурсные	1) Переход на энергосберегающие технологии производства 2) Совершенствование структуры энергетического оборудования, демонтаж и реконструкция устаревшего оборудования 3) Разработка и внедрение более эффективных энергопотребителей (электроприводов и другого энергопотребляющего оборудования), совершенствование управления их режимами 4) Сокращение потерь и использование вторичных топливно-энергетических ресурсов 5) Применение комбинированных энерготехнологических процессов
Природные	1) Вытеснение вредных производств за государственные границы 2) Экономия всех видов ресурсов 3) Изменение психологии потребителя 4) Применение технологий, наносящих минимальный вред окружающей среде
Информационные	1) Широкое использование сети Интернет при взаимодействии всех участников ЖКХ 2) Применение специализированных программных продуктов в деятельности управляющих организаций 3) Внедрение методов месседжмента, инновационного предпринимательства, информационного инжиниринга и автоформализации

Поскольку ЖКХ входит в состав сферы, контролируемой государством, то в полной мере подвержено влиянию тех же факторов. При этом необходимо отметить, что степень воздействия каждой из групп факторов на развитие ЖКХ зависит от особенностей управления коммунальной сферой в каждой отдельно взятой стране.

Сначала рассмотрим опыт США – страны со сходными с Россией природными условиями и с похожей политической системой. Система управления объектами ЖКХ в США характеризуется следующими основными чертами:

- вопросы содержания инфраструктуры поселений относятся к компетенции органов местного самоуправления;
- региональные власти осуществляют контроль за объектами, находящимися в ведении соответствующих штатов (электросети, газопроводы);
- федеральные органы власти курируют крупные объекты федерального значения (дороги, аэропорты и др.);
- система взаимодействия органов власти налажена на всех уровнях;
- в целях оказания качественных услуг в сфере ЖКХ разрабатываются и реализуются федеральные и региональные программы;
- частные фирмы управляют значительной частью жилой недвижимости.

В Великобритании в конце XX века были проведены реформы, направленные на передачу частным компаниям функций по управлению коммунальной инфраструктурой.

Местные органы власти Великобритании координируют действия физических и юридических лиц, участвуют в реализации федеральных, региональных и местных программ, оказывают адресную помощь населению. Главная политическая линия в сфере управления госсобственностью в Великобритании – полноценное сотрудничество с частным сектором вместо приватизации.

Представляют интерес особенности реформирования ЖКХ Восточной Германии – государства бывшего социалистического блока. Реформирование в этой стране проводилось в следующих направлениях:

- создание рынка жилищных и коммунальных услуг с наличием конкуренции в различных сферах хозяйства;
- построение системы эффективного муниципального самоуправления;
- демонополизация и акционирование надрегиональных поставщиков услуг;
- модернизация коммунальной инфраструктуры и жилищного фонда.

Стратегические направления реформирования реализовывались в несколько этапов. Во-первых, социальная помощь всем слоям населения посредством заниженных тарифов на ЖКУ была заменена адресным субсидированием (помощь малообеспеченным гражданам). Во-вторых, обязательным условием приватизации жилищного фонда стала регистрация владельца недвижимости. В-третьих, поставщики ЖКУ стали избираться на конкурсной основе.

В итоге в Восточной Германии за последние 20 лет были воссозданы рыночные механизмы в сфере ЖКХ, позволяющие собственнику самостоятельно управлять недвижимостью.

Во Франции главной особенностью жилищно-коммунальной системы является острая конкуренция между государственными и частными операторами. На рынке коммунальных услуг преобладают крупные операторы как с государственной, так и с частной формой собственности, поскольку данный сектор требует значительных инвестиций. Государственные операторы прочно удерживают свои позиции в секторах энергоснабжения и общественного транспорта, где их доля составляет 93 и 85 % соответственно. Они поделили с частными операторами рынок автостоянок в соотношении 45 к 55 % и в меньшей степени участвовали в деятельности, связанной с водоснабжением и уборкой отходов [2].

Несмотря на то что коммунальные службы во Франции в основном государственные, распространены договоры концессий. На основании договора концессии, частные фирмы могут эксплуатировать предприятия сферы ЖКХ. При этом стратегически важные отрасли (газовая сфера, электроэнергетика) национализированы. Работы по

мелкому ремонту частных домов могут выполняться собственниками самостоятельно. Но и собственники домов заключают договоры с муниципалитетом на доставку газа, воды и другие услуги.

Необходимо отметить, что системам ЖКХ развитых стран присущи следующие недостатки:

- крупные компании активно занимаются спекуляциями на рынке недвижимости;
- постоянно возникают трудноразрешимые имущественные споры между собственниками;
- миграции платёжеспособного населения повышают риски застройщиков при реализации проектов массового строительства жилья и др.

Однако, несмотря на недостатки, система управления объектами ЖКХ западных стран по сравнению с российской системой функционирует более эффективно, поскольку в сфере ЖКХ РФ на всех уровнях сложилась в целом неблагоприятная ситуация, характеризующаяся:

- кризисным финансовым положением; отсутствием экономических стимулов снижения издержек;
- неразвитостью конкурентной среды; предельной степенью износа основных фондов, высокой аварийностью инженерных систем;
- значительными потерями энергии, воды и других ресурсов;
- проведением аварийно-восстановительных работ вместо планово-предупредительного ремонта;
- направленностью инвестиционных проектов на экстенсивное наращивание мощностей;
- неспособностью органов местного самоуправления выполнять свои договорные обязательства пред населением и поставщиками жилищно-коммунальных услуг;
- отсутствием эффективных и прозрачных процедур формирования и изменения тарифов;
- низкой инвестиционной привлекательностью.

Обобщая вышеизложенное, следует отметить, что каждая из рассмотренных систем управления объектами ЖКХ развитых стран обладает отличительными чертами. В США велико влияние федеральных органов власти на отрасль. В Великобритании развита частная собственность на коммунальную инфраструктуру и отмечается высокая персональная ответственность руководителей за подотчётные проекты. В Германии успешно функционируют предприятия ЖКХ, объединённые в холдинги. Во Франции преобладают государственные компании и развита бюрократическая система. Система ЖКХ В России после двадцати лет реформ всё ещё находится в промежуточном состоянии между советской и западной.

Анализ особенностей функционирования ЖКХ в России

Влияние глобальных факторов, приведённых в табл. 1, усилилось после распада Советского Союза. В настоящее время Россия, как и другие страны, находится под влиянием общемировых факторов. Однако качество жилищно-коммунальных услуг в нашей стране не соответствует затрачиваемым ресурсам и не отвечает стандартам развитых государств.

На наш взгляд, одна из основных причин сложившейся ситуации в сфере ЖКХ РФ – недостаточное финансирование. Поясним данное положение, сопоставив затраты на ЖКХ стран Европейского Союза (ЕС) и РФ.

В 2010 году общие государственные расходы на охрану окружающей среды и ЖКХ в ЕС-27 (Евросоюз включает 27 европейских государств) составили 1,9 % валового внутреннего продукта (ВВП), или 3,7 % от общих расходов правительств. Эти расходы включают в себя, с одной стороны, затраты на утилизацию отходов, снижение степени загрязнения окружающей среды, охрану биологического и ландшафтного разнообразия, а с другой – все расходы, связанные со строительством жилищной недвижимости, развитием коммунальных сетей и уличного освещения. На направления «ЖКХ» и «охрана окружающей среды» приходится меньшая часть государственных расходов, несмотря на растущую обеспокоенность общественности состоя-

нием окружающей среды. Общие государственные расходы на защиту окружающей среды и ЖКХ в 2002 и 2010 годах в странах Европейского Союза (% ВВП, в миллионах евро) представлены в табл. 2 [6].

Т а б л и ц а 2

Общие государственные расходы на защиту окружающей среды и ЖКХ
в 2002 и 2010 годах (% ВВП, в миллионах евро)

1	% от ВВП				Миллионы евро	
	Защита окружающей среды		ЖКХ		Защита окружающей среды	ЖКХ
	2	3	4	5	6	7
	2002	2010	2002	2010	2002	2010
ЕС-27	0,8	0,9	1,0	1,0	106 349	123 776

Разделив сумму затрат на ЖКХ за 2010 год на число стран Евросоюза (27), получим 4584,297 млн евро на страну в среднем. Учитывая средний курс евро к рублю за 2010 г. (40,35 руб./ 1 евро) [7], переведём 4584,297 млн из евро в рубли и получим 184 976,384 млн руб. на ЖКХ европейского государства.

В России в 2010 году на ЖКХ было выделено 223 200 млн руб. (0,49 % от ВВП) [8].

Учитывая меньшую (по сравнению с РФ) численность отдельных европейских государств, можно сделать вывод: бюджетные расходы по направлению ЖКХ на душу населения в странах Европы превышают аналогичный показатель в России. Например, в Германии с численностью населения на 1 января 2011 года 81 751 600 жителей на одного человека приходится 2262,66 руб., в Италии – 3072,70 руб., а в Бельгии – 17064,39 руб. В России расходы по направлению ЖКХ на душу населения составляют 1294,4 руб. [9].

Необходимо учитывать, что основная часть поселений России расположена в зоне воздействия отрицательных температур, и для поддержания комфортных условий микроклимата внутренней среды помещений требуются значительные затраты энергии [3]. Поэтому в России необходимо увеличить финансовые вложения в сферу ЖКХ.

Следует подчеркнуть, что успешное аккумулирование денежных средств является следствием эффективной системы управления, а в России система управления народным хозяйством, в том числе объектами ЖКХ, неэффективна. При этом «эффективность» следует понимать не только как соотношение результатов и затрат, но и как степень соответствия полученных результатов ожиданиям заинтересованных лиц.

К основным причинам «неэффективности» ЖКХ нашей страны наряду с рассмотренными ранее глобальными факторами и недостаточным финансированием необходимо отнести ещё и низкую активность граждан, слабое участие частного бизнеса в обслуживании объектов ЖКХ, непрозрачность действий государственных органов по управлению объектами ЖКХ, рост цен, применение устаревших и затратных технологий в строительстве, коррупцию.

Выводы. На основании результатов реформ 90-х годов прошлого столетия можно сделать следующее заключение: применение элементов западных систем управления в российских условиях не всегда дает положительные результаты. Для целей успешного функционирования системы управления объектами ЖКХ необходимо:

- разработать организационно-экономический механизм взаимодействия между субъектами ЖКХ (потребители, управляющие организации, подрядчики, муниципальные управления ЖКХ);
- использовать отечественные традиции управления (коллективная ответственность, государственный контроль всех стратегических инициатив);
- внедрять современные методы управления (административные, экономические, социально-психологические) и современные технологии (инжиниринг, реинжиниринг), непрерывно их совершенствовать;
- применять технологии, направленные на энергосбережение.

Реализации предложенных направлений развития системы управления объектами ЖКХ должна предшествовать работа по созданию программных документов, состоящих из разделов с детальным и реалистическим анализом ситуации в сфере управления объектами ЖКХ, прогнозом развития событий, оценкой рисков, указанием сроков и этапов реализации мероприятий, описанием источников финансирования, оценкой ожидаемых результатов.

Обобщив всё вышесказанное, отметим, что в современном мире главная задача РФ в сфере управления объектами ЖКХ – адаптация коммунального сектора к воздействию гло-

бальных факторов. По мнению авторов, осуществление предложенных направлений будет способствовать повышению конкурентоспособности отечественного ЖКХ.

Список литературы

1. Barber, M. Global trends affecting the public sector / Michael Barber, Alastair Levy, Lenny Mendonca // *Transforming government*. – 2007. – June. – С. 4–12.
2. Куприянов, В. Жилищно-коммунальное хозяйство Франции / В. Куприянов // *Коммунальный комплекс России*. – 2010. – №1 (67). – С. 39.
3. Береговой, А.М. Энергосбережение в зданиях при воздействии экстремальных климатических факторов / А.М. Береговой [и др.] // *Региональная архитектура и строительство*. – 2011. – №1. – С. 155.
4. Spiller, T. Global trends in public sector: the race to intelligence / Thomas Spiller // SAS Institute Inc. – M., 25 September 2007 – presentation. – URL: http://www.sasevents.ru/presentations07/06_Public_Sector_Spiller.pdf – 15.08.2012.
5. Dowall, David E. Globalization, Structural Change and Urban Land Management (Land Lines Article) / David E. Dowall // Lincoln Institute of Land Policy 113 Brattle Street, Cambridge, MA 02138-3400 USA. *Land Lines*: January 1999, Volume 11, Number 1. – URL: http://www.lincolninst.edu/pubs/378_Globalization--Structural-Change-and-Urban-Land-Management – d15.08.2012.
6. General government expenditure statistics // Eurostat. *Statistics Explained*. – URL: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-12-033/EN/KS-SF-12-033-EN.PDF – 25.08.2012
7. Основные производные показатели динамики обменного курса рубля в январе-декабре 2010 года // Центральный банк Российской Федерации. – Режим доступа: http://www.cbr.ru/statistics/print.aspx?file=credit_statistics/ex_rate_ind_10.htm&pid=svs&sid=analit – 28.08.2012.
8. Анализ бюджетных расходов на ЖКХ и охрану окружающей среды в 2011-2013 гг. // Федеральный портал PROTOWN.RU. – Режим доступа: <http://protown.ru/information/hide/6375.html> – 01.09.2012
9. Германия, Италия, Бельгия, Россия // Википедия. Свободная энциклопедия. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/> – 4.09.2012 г.

References

1. Barber, M. Global trends affecting the public sector / Michael Barber, Alastair Levy, Lenny Mendonca // *Transforming government*. – 2007. – June. – С. 4-12.
2. Kuprianov, V. Housing and communal services in France / V. Kuprianov // *Communal services in Russia*. – 2010. – № 1 (67). – P. 39.
3. Beregovoy, A.M. Energy saving in buildings influence of climatic factors / A.M. Beregovoy [and others] // *Regional architecture and construction*. – 2011. – №1. – P. 155.
4. Spiller, T. Global trends in public sector: the race to intelligence / Thomas Spiller // SAS Institute Inc. – M., 25 September 2007. – presentation. – URL: http://www.sasevents.ru/presentations07/06_Public_Sector_Spiller.pdf – 15.08.2012.
5. Dowall, David E. Globalization, Structural Change and Urban Land Management (Land Lines Article) / David E. Dowall // Lincoln Institute of Land Policy 113 Brattle Street, Cambridge, MA 02138-3400 USA. *Land Lines*: January 1999, Volume 11, Number 1. – URL: http://www.lincolninst.edu/pubs/378_Globalization--Structural-Change-and-Urban-Land-Management- 15.08.2012.
6. General government expenditure statistics // Eurostat. *Statistics Explained*. – URL: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-12-033/EN/KS-SF-12-033-EN.PDF – 25.08.2012
7. Main production data of exchange rate dynamics of ruble in January – December 2010 // Central bank expences of RF. – URL: http://www.cbr.ru/statistics/print.aspx?file=credit_statistics/ex_rate_ind_10.htm&pid=svs&sid=analit – 28.08.2012
8. Analysis of budget expenses in housing and communal services and environmental protection in 2011 – 2013 // Federal Portal PROTOWN.RU. – URL: <http://protown.ru/information/hide/6375.html> – 01.09.2012
9. Germany, Italy, Belgium, Russia // Wikipedia. Free encyclopedia – URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/> – 4.09.2012 г.

Тульский государственный университет
Россия, 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92,
тел.: 8 (4872) 33-24-10; 8 (4872) 35-34-44

Широков Алексей Игоревич,
аспирант
E-mail: Infocom-t@mail.ru

Tula State University
Russia, 300012, Tula, 92, Lenin Pr.,
tel.: 8 (4872) 33-24-10; 8 (4872) 35-34-44

Shirokov Alexei Igorevich,
Postgraduate
E-mail: Infocom-t@mail.ru

ОРГАНИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ РЫНКА ОБЪЕКТОВ, НЕ ЗАВЕРШЕННЫХ СТРОИТЕЛЬСТВОМ, И СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ИХ СТОИМОСТИ

А.И. Широков

Рассмотрены действующие принципы организации структуры рынка объектов, не завершенных строительством, и способы оценки их стоимости. Отмечены недостатки этих принципов и способов, определена необходимость использования системного подхода к оценке объектов, не законченных строительством, с применением, наравне с затратным методом, доходного метода и метода сравнительного анализа продаж.

Ключевые слова: организация, не завершённый строительством объект, оценка стоимости, затратный метод, доходный метод, метод сравнительного анализа продаж.

ORGANIZATION STRUCTURE OF UNFINISHED OBJECTS MARKET AND METHODS OF THEIR EVALUATION

A.I. Shirokov

The article describes the existing principles of unfinished objects market structure and ways of their assessment. Some shortcomings of these principles and methods are noted; the necessity to use systematic approach to unfinished objects assessment (together with a cost method, profitable method and method of comparative analysis) is identified.

Keywords: organization, unfinished construction, cost estimate, cost method, income method, method of sales comparative analysis.

Рынок недвижимости – сложная структура, цель которой свести вместе покупателей и продавцов. Это определенный набор механизмов, посредством которых через динамику спроса и предложения осуществляется передача прав на собственность и связанных с ней интересов от продавца к покупателю непосредственно или через институт посредничества, определяются цены и распределяется пространство между различными конкурирующими вариантами использования объектов недвижимости [8].

По данным Управления статистики основных фондов и строительства Госкомстата России [5, 6], за прошедшие годы объем незавершенного строительства (НС) в целом по Российской Федерации имел тенденцию к сокращению. По сравнению с 1991 годом он уменьшился более, чем на треть. Однако анализ статистических данных и ценообразования показывает, что снижение объемов НС в 1998 году по отношению к 1992 году на 34,7 % есть результат политики ценообразования, не имеющий ничего общего с сокращением физических объемов НС.

В результате процесса разгосударствления предприятий и организаций произошло перераспределение объемов НС по формам собственности. Уменьшилась доля предприятий и организаций государственной и муниципальной форм собственности (если в 1992 году она составляла 90 %, то в 2001 году – менее 35 %). Увеличилась доля смешанной российской и частной форм собственности [7].

Основная доля НС приходится на объекты здравоохранения, это примерно 32 % от общего объема НС. Не завершённые строительством объекты жилищного и коммунального назначения составляют 18 и 31 % соответственно.

В денежном выражении больший объем 57 % составляют производственные объекты, не завершённые строительством (ОНС), на 1.01.2001 г. их объем составил 711,743 млн руб. [2].

Несмотря на то что ОНС относятся к недвижимому имуществу [3] или могут таковыми стать после оформления известного пакета документов и регистрации в государственных органах, с точки зрения экономической оценки они имеют свои существенные особенности.

На западном рынке принята классификация объектов недвижимости (в том числе и не завершённых строительством) по категориям А, Б и В [4].

Категория А. Недвижимость, используемая владельцем для ведения бизнеса. Эта недвижимость подразделяется на следующие классы:

1. Специализированная недвижимость, приспособленная для ведения определенного бизнеса и обычно продающаяся вместе с бизнесом.

Примеры: нефтеперегонные заводы, химические предприятия, цеха для размещения машин и оборудования; здания, которые из-за своего расположения на рынке, размера, конструкции никогда не продаются или не сдаются в аренду третьей стороне на рынке.

2. Неспециализированная недвижимость – обыкновенные здания магазины, офисы, фабрики, склады, которые обычно продаются или сдаются в аренду.

Категория Б. Недвижимость для инвестиций. Данными видами недвижимой собственности владеют с целью получения дохода от аренды и/или извлечения прибыли на вложенный капитал.

Категория В. Избыточная недвижимость – земля со зданиями или свободные участки, которые больше не нужны для ведения бизнеса сегодня или в будущем и поэтому объявляются избыточной недвижимостью.

В «Методических рекомендациях по оценке стоимости законсервированных объектов и ОНС, предназначенных для продажи» предлагается классификация ОНС по следующим признакам:

- по показателю сметной стоимости и сложности;
- по степени строительной готовности.

Авторы предлагают по показателям сметной стоимости разделить ОНС на три группы. К первой группе относят мелкие объекты со сметной стоимостью до 1 млн руб. (в ценах на 01.01.91), ко второй группе – от 1 до 50 млн руб. и к третьей группе – крупные объекты сметной стоимостью свыше 50 млн руб.

По степени строительной готовности ОНС рекомендуют подразделять на три группы: объекты с низкой степенью готовности (до 30 %), средней – до 70 % и высокой – свыше 70 %. При этом под строительной готовностью понимается отношение сметной стоимости выполненных работ и затрат на момент оценки к полной сметной стоимости строительства ОНС в сопоставимых ценах.

Такая классификация вполне оправдана, если учесть способы оценки, предлагаемые в «Методических рекомендациях по оценке стоимости законсервированных объектов и ОНС, предназначенных для продажи». Для мелких ОНС (объектов 1-й группы), а также для ОНС с низкой строительной готовностью, относящихся ко 2-й группе, определение цены рекомендуется осуществлять по упрощенному способу, суть которого будет изложена ниже.

Для крупных и сложных ОНС, входящих в 3-ю группу, а также для объектов, относящихся ко 2-й группе (за исключением ОНС с низкой строительной готовностью), определение цены объекта рекомендуется осуществлять по основному методу, также изложенному и охарактеризованному ниже. Оба способа основаны на использовании затратного подхода к оценке, ориентирующегося на сметную стоимость выполненных работ, т.е. на затраты. В «Методических рекомендациях по оценке стоимости законсервированных объектов и ОНС, предназначенных для продажи» предлагается следующая формула для определения исходной величины стартовой цены ОНС:

$$Ц_{\text{стар.}} = (C_{\text{смп}} \cdot K_T + C_{\text{обор}} + C_{\text{проч}}) + П, \quad (1)$$

где $Ц_{\text{стар.}}$ – стартовая цена объекта; $C_{\text{смп}}$, $C_{\text{обор}}$, $C_{\text{проч}}$ – сметная стоимость соответственно строительно-монтажных работ, оборудования и прочих затрат, в текущих ценах; K_T – коэффициент, учитывающий территориальное расположение объекта; $П$ – поправки к сметной стоимости, учитывающие (-) льготы или (+) наценки (устана-

вливаются по решению местных органов власти при соблюдении определенных условий развития предприятий).

Учет территориального расположения ОНС, инженерно-транспортного обустройства, уровня развития инфраструктуры, санитарно-гигиенических условий и природного окружения, а также престижности городского района рекомендуется осуществлять при помощи поправочного коэффициента K_T к стоимости объекта. Этот коэффициент определяется экспертным путем или соотношением ставки ежегодной арендной платы за землю по определенному региону по формуле:

$$K_T = C_{об.зем} / C_{рег.зем}, \quad (2)$$

где $C_{об.зем}$ – плата за землю в районе расположения объекта; $C_{рег.зем}$ – средняя плата за землю в определенном районе.

В случаях, когда по экспертной оценке оцениваемый ОНС относится к категории высокодоходных (или низко доходных), рекомендуют в расчете стартовой цены ОНС учитывать фактор доходности. Для этого авторами предлагается следующая формула:

$$Ц_{с.д} = Ц_c \cdot T_{ср} / T, \quad (3)$$

где $Ц_{с.д}$, $Ц_c$ – расчетные значения стартовой цены ОНС, определенные соответственно с учетом и без учета фактора доходности; $T_{ср}$, T – сроки окупаемости капитальных вложений соответственно, средний межотраслевой и прогнозируемый (расчетный) по ОНС. Авторами предлагается величину $T_{ср}$ принимать равной 6,67 (т.е. $T_{ср} = 1 / E_n$; $E_n = 0,15$).

Как было сказано выше, для мелких ОНС (объектов 1-й группы), а также для ОНС с низкой строительной готовностью, относящихся ко 2-й группе, определение цены рекомендуется осуществлять по упрощенному способу, суть которого выражается формулой:

$$Ц_{стар} = (C_{смет} \cdot K_{сг} / 100 \cdot K_T) + П, \quad (4)$$

где $Ц_{стар}$ – стартовая цена ОНС; $C_{смет}$ – сметная стоимость строительства объекта в целом в текущих ценах; $K_{сг}$ – коэффициент строительной готовности в процентах; K_T , $П$ – аналогично формулам (1), (2).

Анализируя вышеприведенные формулы, можно сделать вывод о том, что в их основу положен лишь затратный подход оценки ОНС. Попытка учесть фактор доходности в формуле (3) не соответствует требованиям рыночной экономики и современному состоянию рынка ОНС. Необходимо отметить, что в работе в принципе не решен вопрос о базах оценки, речь идет об определении стартовой цены ОНС при продаже на инвестиционных торгах или конкурсах.

Стоимость ОНС на период времени оценки (оценочная стоимость) автор [8] рекомендует определять по формуле:

$$C_o = C_{зс} + C_{об} + C_{зем} + C_{и} + C_{т}, \quad (5)$$

где C_o – оценочная стоимость ОНС; $C_{зс}$ – стоимость зданий и сооружений; $C_{об}$ – стоимость оборудования, машин, инструментов и приспособлений, мебели и др.; $C_{зем}$ – стоимость земельных участков; $C_{и}$ – стоимость интеллектуальной собственности; $C_{т}$ – стоимость организации и проведения торгов, аукционов.

Стоимость зданий и сооружений автор предлагает определять по формуле:

$$C_{зс} = C_y \cdot K_p \cdot K_{фт} \cdot K_{мт} \cdot K_{ти}, \quad (6)$$

где C_y – учетная стоимость зданий, сооружений; K_p – коэффициент, учитывающий объем реально выполненных работ; $K_{фт}$, $K_{мт}$ – коэффициенты, учитывающие соответственно влияние физического и морального износа; $K_{ти}$ – индекс изменения стоимости строительства относительно базисных цен 1991 года.

Оценочную стоимость оборудования автор предлагает определять по формуле:

$$C_{об} = C_{об.у} \cdot K_{фт} \cdot K_{ти}, \quad (7)$$

где $C_{об.у}$ – учетная стоимость оборудования, определяется как стоимость оборудования, учтенная в финансовых документах.

В результате анализа формул можно сделать вывод о том, что в предлагаемой методике оценки ОНС [9] лежит все тот же затратный метод, хотя теория оценки требует также применения доходного метода и метода сравнительного анализа продаж.

К достоинствам работы [9] можно отнести учет функционального износа, а также разработку вопросов организации продаж ОНС на инвестиционных торгах и аукционах.

В работе [1] говорится, что принцип лучшего и наиболее эффективного использования применяется, если оценка проводится в целях реструктуризации на основе максимизации стоимости предприятия (бизнеса). Но в чем заключаются элементы реструктуризации для ОНС и присутствуют ли они в методике, описанной автором, не говорится.

Подход к оценке ОНС через прогноз будущей прибыльности актива наряду с фактическими издержками на создание актива даже для финансовой отчетности, безусловно, является положительным фактором.

На основании вышеизложенного необходимо отметить: ОНС по сути должны рассматриваться как объекты, требующие инвестиций. В данном контексте необходимо рассматривать строящиеся, реконструируемые или расширяемые предприятия, здания, сооружения, предназначенные для производства, с позиции инвестиционного анализа. С этой точки зрения при оценке рыночной стоимости ОНС необходимо использовать систему показателей, критериев и методов оценки эффективности инвестиционных проектов [4].

Список литературы

1. Баяндин, М.А. Экономическое обоснование использования объектов незавершенного строительства: автореф. дис.... канд. экон. наук / М.А. Баяндин. – М., 1996. – 22 с.
2. Российская Федерация. Законы. Гражданский кодекс. – М., 1994.
3. Анализ незавершенного строительства // Европейские стандарты оценки капитальных активов. Стандарт №21. – М., 1997. – С. 11.
4. Инвестиции в экономику России. Отчет управления статистики основных фондов и строительства Госкомстата России за 2002 год.
5. Инвестиционная деятельность и обновление капитала // Строительная газета. – 1998. – №42.
6. Закон Российской Федерации Об оценочной деятельности в Российской Федерации от 29 июля 1998 г. № 135.
7. Островкин, И.М. Исследование проблемы оценки стоимости предприятий с использованием имущественного подхода: автореф. дис.... канд. экон. наук / И.М. Островкин. – М., 1997. – 17 с.
8. Фридман, Д. Анализ и оценка приносящей доход недвижимости: пер. с англ. / Д. Фридман, Н. Ордуэй. – М., 1995. – 480 с.

References

1. Bayandin, M.A. The economic rationale for the use of assets under construction: summary dis candidate. econ. science / M.A. Bayandin. – M., 1996. – 22 p.
2. The Russian Federation. Laws. Civil code. – M., 1994.
3. Analysis under construction // European standards for evaluation of capital assets. Standard №21. – M., 1997. – P. 11.
4. Investment in the Russian economy. Report of Statistics of fixed assets and construction of the State Statistics Committee of Russia for 2002.
5. Investment and Capital Update // Construction paper. – 1998. – №42.
6. Federal Law On Valuation Activities in the Russian Federation of July 29, 1998 №135.
7. Ostrovkin, I.M. Study of the problem costing businesses with property approach: summary dis cand. econ. science / I.M. Ostrovkin. – M., 1997. – 17 p.
8. Friedman, D. Analysis and evaluation of income properties: translation from English / D. Friedman, N. Ordway. – M., 1995. – 480 p.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства
Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Королев Алексей Александрович,
доктор исторических наук, доцент,
старший научный сотрудник
Тел.: (8412) 95-70-79
E-mail: sansan@pnz.ru

Королева Лариса Александровна,
доктор исторических наук, профессор,
зав. кафедрой «История и философия»
Тел.: (8412) 42-05-02
E-mail: la-koro@yandex.ru

Гринцов Дмитрий Михайлович,
студент 4 курса
Тел.: (8412) 42-05-02
E-mail: history@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*
Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Koroljov Alexey Aleksandrovich,
Doctor of Historical Sciences, Associate
Professor, Senior Researcher
Tel.: (8412) 95-70-79
E-mail: sansan@pnz.ru

Koroljova Larisa Aleksandrovna,
Doctor of Historical Sciences, Professor, Head
of the department «History and Philosophy»
Tel.: (8412) 42-05-02
E-mail: la-koro@yandex.ru

Grintsov Dmitry Mikhaylovich,
Student 4 courses
Tel.: (8412) 42-05-02
E-mail: history@pguas.ru

СРЕДНЕЕ ПОВОЛЖЬЕ: НАЦИОНАЛЬНАЯ ТАТАРСКАЯ КУЛЬТУРА И ГЛОБАЛИЗАЦИЯ*

А.А. Королев, Л.А. Королева, Д.М. Гринцов

В статье на примере Среднего Поволжья рассматриваются позитивные (большие возможности коммуникации и информатизации и т.д.) и негативные (унификация, нивелирование и т.д.) стороны взаимосвязи и взаимовлияния процессов национального и религиозного «возрождения» у татар-мусульман, одним из проявлений которого является развитие национальной культуры, и глобализации.

Ключевые слова: глобализация, национальное и религиозное «возрождение», ислам, татары, Среднее Поволжье.

THE CENTER VOLGA REGION: NATIONAL TATAR CULTURE AND GLOBALIZATION

A.A. Koroljov, L.A. Koroljova, D.M. Grintsov

On the example of the Center Volga region the authors consider positive (great opportunities for communication and information etc.) and negative (unification, leveling etc.) sides of interrelation and interference of the processes of national and religious «revival», one of its manifestations is development of Muslim Tatars national culture, and globalization.

Keywords: globalization, national and religious «revival», Islam, Tatars, Center Volga region.

Процессы глобализации в современном мировом сообществе весьма тесно связаны с возрождением национального самосознания, что, в некотором смысле, можно рассматривать как защитную реакцию на воздействие интеграционных и ассимиляционных тенденций. Несмотря на то, что глобализация – объективный процесс, тем не менее, потребность в сохранении национальной культуры и ценностей практически высока у всех этнических или этноконфессиональных сообществ.

Для татар Среднего Поволжья характерны длительное сосуществование с русскими, серьезная европеизация быта и отдыха, включенность некоторых элементов русской культуры,

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках научно-исследовательского проекта РГНФ «Исламский «ренессанс» в постсоветской России (по материалам Среднего Поволжья)», проект № 12-31-01204.

в том числе языка, в собственную культуру. Однако они сумели сохранить национальную и часто воспринимающуюся как однозначные категории – конфессиональную самобытность, и на современном этапе глобализация расценивается во многом как угроза этноконфессиональной идентификации татар-мусульман. Экс-президент Татарстана М.Ш. Шаймиев открыто заявляет: «В эпоху глобализации татарам нужно сохранить свою республику, свою государственность, свою Конституцию, ибо только в Татарстане есть все необходимые структуры для развития языка и культуры. Сохранится государственность, значит, выживет и наш народ, и наш язык; будут процветать литература и искусство, культура и история, национальные традиции» [3, с. 4].

Интересно, что новый виток глобализации 1990-х гг. совпадает с национальным и религиозным «возрождением» России. В условиях глобализации возможность потери этноконфессиональной идентичности, ее размывания становится очень реальной. В контексте данной проблемы значимость методов самосохранения, консервации национальных особенностей только возрастает.

Глобализация в первую очередь сказывается на состоянии национального языка, со временем приводит к уменьшению его значения, поскольку для удачной международной хозяйственной деятельности требуется своевременная коммуникативная среда на одном языке, и в роли такого языка, как правило, выступает английский.

В этой связи татарами Среднего Поволжья особое внимание уделяется возрождению и развитию национального языка. По Конституции Российской Федерации государственным языком на всей территории России провозглашается русский (ст. 68 п. 1). В то же время в Федеральном законе декларируется, что государство способствует развитию национальных языков, двуязычия и многоязычия, республиканским законодателям предоставлено право самостоятельно принимать решения о правовом статусе языков народов, проживающих на их территории. Позитивными результатами «перестройки» явились возрождение национального и исламского образования, широкое распространение использования татарского языка. Декларация о суверенитете и Конституция Республики Татарстан признали равноправие русского и татарского языков, объявленных государственными языками. В Татарстане были приняты Верховным Советом республики Закон о языках и «Государственная программа Республики Татарстан по сохранению, изучению и развитию языков Республики Татарстан». В результате в республике было открыто много новых школ и специальных классов в смешанных школах с преподаванием на татарском языке. Если в 1987/1988 учебном году в Татарстане было 995 школ с численностью 104,4 тыс. учащихся с татарским языком обучения в основном в сельской местности, то в следующем году число татарских школ возросло до 1059, в русских и смешанных школах насчитывалось около 10 тыс. групп с общим количеством более 127 тыс. учащихся по изучению татарского языка. В 200 школах с русским языком обучения существует должность заместителя директора по национальному образованию. В 1997 г. в Татарстане уже 40,3 % от общего количества детских садов составляли татарские, в русскоязычных детских садах открывались татарские группы. Причем появились принципиально новые адресные учебно-методические пособия: «Программа по родному языку для детских садов и семьи», «Программа по обучению татарскому языку русскоязычных детей в детских садах», «Хрестоматия для татарских детских садов «Глобалча», «Фонохрестоматия по изучению татарского языка в детских садах», «Фонохрестоматия татарских песен и сказок» и др. Председатель Государственного совета Республики Татарстан Ф.Х. Мухаметшин, отмечая важность проблемы родного языка в условиях глобализации, подчеркивает необходимость борьбы за сохранение национально-регионального компонента в образовательном стандарте.

В Пензенской области на 1993 г. насчитывалось 29 школ с преподаванием татарского языка. В середине 1990-х гг. в Ульяновской области функционировало 99 школ с преподаванием татарского языка, в Самарской области – 29.

В Ульяновске власти в 1992 г. приняли решение «О состоянии и мерах улучшения преподавания родных языков в школах области». Управлением образования была разработана пятилетняя программа по сохранению и развитию языков, финансирование которой в бюджете региона шло отдельной статьей. Областной Совет укрепил кафедру по изучению родного языка в институте подготовки кадров, в 1993 г. в училище культуры была создана группа для подготовки национальных татарских и чувашских педагогических кадров.

В Пензенской области действует 14 татарско-исламских просветительских центров с библиотеками и книжными лавками, 5 центров – в Ульяновской области. С целью оптимизации преподавания татарского языка и литературы в 1992-1996 гг. в Татарстане были изданы новые учебники для татарских школ: по татарской литературе с 5 по 11 класс, по татарскому языку – с 5 по 9 класс; для учащихся-татар, обучающихся в русской школе, с 1994 по 1997 г. также изданы новые учебники по татарскому языку и литературе со 2 по 11 классы [1, с. 107].

Повсюду в Среднем Поволжье – в городах, районных центрах – были открыты курсы по изучению татарского, арабского языков. Огромное значение для развития и распространения татарского языка имело издание разговорников и словарей татарского языка. Среди татарской

литературы, выпускаемой Таткнигоиздатом, особо востребованы циклы «Духовное наследие», «Литературное наследие» и т.п.

Практически во всех крупных регионах компактного проживания мусульман были созданы общества или центры татарской культуры, одной из приоритетных задач которых являлись развитие и пропаганда национального языка (Пенза – «Якташлар», Ульяновск – «Туган тел», Самара – «Туган тел» и т.д.); действуют народные татарские танцевальные ансамбли «Самара – «Ялкынлы яшьлек» и т.д.).

Значительную роль в возрождении татарского языка сыграли татарские средства массовой информации, в том числе и мусульманские. В 1990 г. в Среднем Поволжье появились многочисленные печатные органы татарско-исламской направленности. Так, в Казани издаются газеты «Иман», «Вера»; в Пензе – газета Единого Духовного управления мусульман Пензенской области – «Солнце Ислама» (с 1998 г.); в Набережных Челнах – «Ислам нуры»; в Самаре – «Бәрдемлек» (с 1990 г.) и «Азан» (с 1996 г.); в Ульяновске – «Эмет», «Кумек куч» (Старокулаткинский район), «Байт Аллах» (с 1994 г.) и т.д. В большинстве своем, газеты на татарском языке носили культурно-просветительский характер и рассчитаны были на читателя, активно интересующегося традициями своего народа. Компактное проживание с русскими и, как следствие, некоторое обрусение татар на территории Среднего Поволжья стало основной причиной того, что мусульманские газеты полностью или частично выходили на русском языке. Удобство в прочтении и понимании являлось главной задачей размещаемых в данных газетах материалов. Первоначально в изданиях фактически отсутствовал аналитический материал или был представлен довольно однобоко. Практически все татарско-исламские газеты проявляли лояльность к федеральным и местным властям. С оппозиционными настроениями выступали лишь отдельные деятели Духовного управления мусульман Республики Татарстан (1997 г. – один из кандидатов на должность муфтия Республики Татарстан Ф. Салман предпринял попытку печатать газету «Ал-Фуркан», 1998–1999 гг. – бывший муфтий Г. Галиуллин издавал газету «Омет-Надежда»).

Татары Среднего Поволжья, особенно в Татарстане, выражают серьезную обеспокоенность в связи с глобализацией, некоторые представители проявляют активное неприятие данных процессов. «Люди подвержены процессам глобализации, но я считаю, что глобализация может быть только в областях технического прогресса. Крупные государства этого до конца сегодня еще не чувствуют, но малые государства и малые народы это очень болезненно воспринимают – теряется язык, традиции, культура. К тому же это конституционные права каждого человека. Мы не должны забывать об этом» – говорил экс-президент Республики Татарстан М.Ш. Шаймиев [3, с. 4]. Т.Р. Бареев, Председатель Всемирного татарского общественного центра (ВТОЦ), подчеркивает, что глобализацию «... нельзя оценивать однозначно. В Коране написано, что Аллах создал людей разными народами, чтобы они познавали друг друга. Что касается культурной области, то, как раз, мусульманский мир менее всего поддается глобальной ассимиляции. Поэтому в первую очередь татары должны крепко держаться за свою веру, чтобы не потерять свою идентичность» [4].

Таким образом, очевидно, что в любых условиях нации должны сохранять свои родной язык, религию, историю и культуру. Глобализация для всех наций, в том числе и татарской, – процесс неоднозначный, подтверждаются как негативные стороны влияния (унификация, нивелирование и т.д.), так и позитивные (большие возможности коммуникации и информатизации и т.д.).

Список литературы

1. Грейни, К. Возрождение системы национального образования в Республике Татарстан в период суверенитета (1990–1997 гг.) / К. Грейни // Второй Международный Конгресс этнографов и антропологов: тезисы. – Уфа: Восточный университет, 1997. – Ч. I.
2. Звезда Поволжья. – 2007. – № 47. – С. 4.
3. Приветствие Президента Республики Татарстан Минтимера Шаймиева участникам III Всемирного конгресса татар 29 августа 2002 года // Коммерсантъ. – 2002. – № 155 (2524). – С. 3.
4. Татарский демократический оптимизм // Татарская деловая газета «eTatar.ru». – Режим доступа: // <http://hghltd.yandex.net/yandbtm?text>

References

1. Greyni K. Revival of system of national education in the Republic of Tatarstan in the sovereignty (1990–1997) // The Second International Congress of ethnographers and anthropologists: theses. – Ufa: East university, 1997. – H. I.
2. Star of the Volga region. – 2007. – №. 47. – P. 4.
3. Greeting of the President of the Republic of Tatarstan Mintimer Shaymiev to participants of the III World congress of Tatars on August 29, 2002 // Kommersant. – 2002. – №. 155 (2524). – P. 3.
4. Tatar democratic optimism // Tatar business newspaper «eTatar.ru». – URL: // <http://hghltd.yandex.net/yandbtm?text>

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства
Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Артемова Светлана Федоровна,
кандидат исторических наук, доцент
кафедры «История и философия»
Тел.: (8412) 42-05-02
E-mail: history@pguas.ru

Королев Алексей Александрович,
доктор исторических наук, доцент,
старший научный сотрудник
Тел.: (8412) 95-70-79
E-mail: sansan@pnz.ru

Королева Лариса Александровна,
доктор исторических наук, профессор,
зав. кафедрой «История и философия»
Тел.: (8412) 42-05-02
E-mail: la-koro@yandex.ru

Гарькин Игорь Николаевич,
аспирант
Тел.: (8412) 42-05-02
E-mail: igor_garkin@mail.ru

Гринцов Дмитрий Михайлович,
студент 4 курса
Тел.: (8412) 42-05-02
E-mail: history@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*
Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Artyomova Svetlana Fiodorovna,
Candidate of Historical Sciences, Associate
Professor of the department «History and
Philosophy»
Tel.: (8412) 42-05-02
E-mail: history@pguas.ru

Koroljov Alexey Aleksandrovich,
Doctor of Historical Sciences, Associate
Professor, Senior Researcher
Tel.: (8412) 95-70-79
E-mail: sansan@pnz.ru

Koroljova Larisa Aleksandrovna,
Doctor of Historical Sciences, Professor, Head
of the department «History and Philosophy»
Tel.: (8412) 42-05-02
E-mail: la-koro@yandex.ru

Garkin Igor Nikolaevich,
Postgraduate
Tel.: (8412) 42-05-02
E-mail: igor_garkin@mail.ru

Grintsov Dmitry Mikhaylovich,
Student 4 courses
Tel.: (8412) 42-05-02
E-mail: history@pguas.ru

ПЕНЗЕНСКИЙ РЕГИОН: ЕВАНГЕЛЬСКИЕ ХРИСТИАНЕ-БАПТИСТЫ – ВЗГЛЯД В СОВЕТСКОЕ ПРОШЛОЕ (1960 – ПЕРВАЯ ПОЛОВИНА 1980 ГГ.)*

С.Ф. Артемова, А.А. Королев, Л.А. Королева, И.Н. Гарькин, Д.М. Гринцов

В статье раскрываются социально-демографические характеристики пензенских евангельских христиан-баптистов, исследуется их религиозная практика, раскрываются основные направления советской государственно-религиозной политики в отношении ЕХБ на региональном уровне – в Пензенской области со второй половины 1940-х по 1960-е гг.

Ключевые слова: СССР, евангельские христиане-баптисты, Пензенская область.

THE PENZA REGION: EVANGELICAL CHRISTIANS BAPTISTS – THE LOOK TO THE SOVIET PAST (1960 – THE FIRST HALF OF 1980)

S.F. Artyomova, A.A. Koroljov, L.A. Koroljova, I.N. Garkin, D.M. Grintsov

Socially-demographic characteristics of the Penza evangelical Christians-baptists are revealed in the article, their religious practice is investigated, the basic directions of the Soviet state-religious policy concerning ECB at regional level – in the Penza region in second half 1940-1960th are shown.

Keywords: USSR, evangelical Christians-baptists, Penza region.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России в рамках научно-исследовательского проекта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы», соглашение № 14.В37.21.0478.

Общины евангельских христиан-баптистов (ЕХБ) на территории области действовали в Пензе и с. Ляча (позже – Кривошеевка) Нижне-Ломовского района общей численностью 517 верующих – данные на 1968 г. Пензенская община, насчитывавшая 443 члена, была самой большой. На обычные моления в этой общине сходилось до 150 человек. Отдельные верующие ЕХБ проживали в селах Белинского, Городищенского, Иссинского, Кузнецкого, Лунинского, Никольского, Сердобского районов. Общая численность верующих ЕХБ по Пензенской области составляла 650 человек. В 1964 г. небольшая незарегистрированная группа евангельских христиан-баптистов действовала в с. Нарышкино Сердобского района [2, д. 41, л. 54].

До 1960 г. межобластной религиозный центр евангельских христиан-баптистов, который возглавлял старший пресвитер евангельских христиан-баптистов по областям и автономным республикам Среднего Поволжья и Урала Г.М. Бузынин, размещался в Пензе. Религиозному центру баптистов в Пензе подчинялись действовавшие общины евангельских христиан-баптистов Куйбышевской, Оренбургской, Ульяновской областей, Мордовской, Татарской, Марийской, Чувашской, Удмурдской и Башкирской АССР. Поскольку Г.М. Бузынин был человеком преклонного возраста, он редко выезжал в религиозные общины, мало влиял на их деятельность. Его помощник С.Г. Щепетов постоянно проживал в Москве и в Пензенской области почти не появлялся. В связи с этим Всесоюзный совет евангельских христиан-баптистов (ВСЕХБ) предпринял ряд попыток укрепить свой центр в Пензе. В 1959 г. ВСЕХБ сместил Г.М. Бузынина с должности старшего пресвитера и назначил более молодого и энергичного баптиста В.И. Ермилова, что, безусловно, способствовало активизации церковников. Однако «в государственных интересах» уполномоченный Совета по Пензенской области С.С. Попов через головную структуру добился отмены назначения, и Г.М. Бузынин был оставлен в должности. В феврале 1960 г. ВСЕХБ повторно снимает с должности Г.М. Бузынина и назначает В.И. Ермилова, которому под благовидным предлогом С.С. Поповым было отказано в регистрации. Видя явное противодействие властей, ВСЕХБ вообще упразднил должность старшего пресвитера в Пензе, тем самым ликвидировав религиозный центр евангельских христиан-баптистов [2, д. 41, л. 57]. С того времени баптистские религиозные общества Пензенской области подчинялись старшему пресвитеру евангельских христиан-баптистов А.Е. Клименко, который проживал в Куйбышеве. Соответственно в 1965 г. по Пензенской области было зарегистрировано 2 пресвитера; оба не являлись работниками производства или совхоза; стаж духовной деятельности у одного начинался с 1917, у другого – с 1941 г.; возраст обоих составлял старше 60 лет; у обоих низшее образование; ни тот, ни другой не имели духовного образования [1, д. 4617, л. 104].

В середине 1970-х гг. численность ЕХБ составила 594 верующих: 205 мужчин и 489 женщин. Основной состав верующих ЕХБ представляли женщины преклонного возраста с начальным образованием. Среди верующих-баптистов 69 человек были до 30 лет; 201 – от 30 до 60; 324 – старше 60. Уровень образования баптистов был невысок: 3 человека имели высшее образование; 83 – среднее; неполное среднее – 109; 165 – начальное; 234 – малограмотные и неграмотные [2, д. 59, л. 3].

В 1967 г. религиозными объединениями ЕХБ по Пензенской области было совершено 17 крещений и 13 религиозных похорон; в 1969 г. – 24 и 12 соответственно. Наиболее активно действовала община в Пензе. В обычный день на молениях присутствовало до 150 человек [2, д. 66, л. 70].

Если основная масса верующих православных и мусульман занималась общественно-полезным трудом, то евангельские христиане-баптисты (280 человек – 52 %) не работали по старости, болезни и другим причинам. Ежегодный приток новых членов общин был небольшой, но сектантам удавалось восполнить ряды, поэтому численный состав верующих практически сохранялся на одном уровне. Так, в 1967 г. в общинах ЕХБ умерли 13 верующих, но 17 вступили в общины [1, д. 4617, л. 105]. Основным источником «воспроизводства» являлись семьи последователей баптизма и их родственное окружение. Нормы баптизма требовали заключения браков только в среде верующих; семья должна была выступать «домашней церковью», особенно для детей [1, д. 4617, л. 104].

Доход общин евангельских христиан-баптистов за 1964 г. составил 4061 руб. (Пензенская община – 3842 руб.; Лячинская – 219 руб.); 1967 г. – 5618 руб.; 1969 г. – 5949 руб.; 1975 год – 7649 руб.; 1979 г. – 7808 руб.; 1980 г. – 10340 руб.; 1981 г. – 11593 руб.; 1985 г. – 11571 [2, д. 59, л. 4; д. 66, л. 72; д. 41, л. 54; д. 100-в, л. 234; д. 121, л. 3]. Главным источником доходов общин были добровольные пожертвования верующих, как правило, именно они составляли 90–100 % всех поступлений.

В связи с активизацией деятельности уполномоченного Совета по делам религий если за период 1961–1969 гг. общины евангельских христиан-баптистов в целом внесли в Фонд мира 260 руб., то за один лишь 1985 г. – 400 руб. [2, д. 66, л. 122].

Хотя в целом деятельность общин протекала довольно спокойно, в рамках советской законности, в середине 1970-х случился своего рода инцидент. Пресвитер пензенской общины евангельских христиан-баптистов М.Ф. Суханов под влиянием «антиобщественно настроенного» члена исполнительного органа общины А.М. Власенко ослабил свои контакты с уполномоченным Советом и стал неправильно воздействовать на членов общины. В связи с этим с помощью Совета по делам религий и при непосредственном участии помощника старшего пресвитера евангельских христиан-баптистов по автономным республикам и областям Среднего Поволжья В.А. Кригера в начале 1975 г. была произведена замена пресвитерского руководства общины. На собрании в Пензенской общине евангельских христиан-баптистов пресвитером вместо М.Ф. Суханова был избран товаровед конторы «Росбакалея» П.М. Ульянов, «имеющий более правильные понятия о своих гражданских обязанностях. И.о. пресвитера в общине евангельских христиан-баптистов в с. Кривошеевке была избрана М.А. Мокина» [2, д. 121, л. 3].

На территории Пензенской области в связи с удаленностью от места расположения зарегистрированных общин действовали и незарегистрированные группы евангельских христиан-баптистов, например в с. Новая Сярда Тамалинского района и с. Нарышкино Бековского района. Причем бывший пресвитер пензенской общины М.Ф. Суханов поощрял их деятельность [1, д. 5235, л. 60].

В 1960 гг. среди советских евангельских христиан-баптистов произошел раскол. Поскольку Совет по делам религий был в курсе разногласий, попытки предотвратить раскол предпринимались задолго до созыва съезда. Кандидатуры делегатов на форум ЕХБ подвергались тщательному отбору. В частности, и.о. уполномоченного Совета по Пензенской области С.С. Попов не согласился с предложенной Советом по делам религиозных культов при Совете Министров СССР кандидатурой делегата от Пензенской общины ЕХБ В.С. Северина. В своей секретной записке № 10/с С.С. Попов сообщал, что Северин «по своим религиозным и политическим убеждениям является неустойчивым человеком, и имеются опасения, что, встретив на съезде кого-либо из представителей так называемых «раскольников», он может подпасть под их влияние. ... Северин является только членом, а не председателем исполнительного органа общины» [2, д. 41, л. 15]. Им была предложена кандидатура председателя Пензенской общины М.Ф. Суханова, с которой и согласилась высшая инстанция.

Как и на территории бывшего СССР, в Пензенской области функционировала группа евангельских христиан-баптистов, поддерживавших «Совет церквей евангельских христиан-баптистов» (СЦЕХБ). Еще в 1963 г. в Пензу из Новосибирской области прибыл, по сообщению С.С. Попова в информационной записке № 224/с от 14 декабря 1963 г., «по заданию «раскольников» 30-летний А. Зубков, ... который пытался склонить некоторых членов общины на свою сторону» [2, д. 41, л. 16-а]. Верующие общины его не приняли, более того, спустя 5 месяцев его проживания в Пензе, предъявили ему требование устроиться на работу. Поскольку он отказался, на очередном молитвенном собрании верующих исполком общины ЕХБ обратился к членам с просьбой, чтобы они воздерживались от установления с Зубковым каких-либо близких отношений и не пускали его к себе на квартиру, так как он приехал в общину с какими-то корыстными целями» [2, д. 41, л. 16-а]. В мае 1963 г. А. Зубков покинул город.

Но раскол все же произошел. В группу, поддерживавшую СЦЕХБ, входило около 20 сектантов. Возглавляли группу Я.М. Федяшин – житель с. Бессоновки, без определенных занятий; К.Г. Ужаровская – бухгалтер швейного ателье «Березка»; Н.Ф. Филимонова – повар детского сада № 11. Уполномоченный Совета по делам религий С.С. Попов отмечал, что «отколовшаяся группа прекратила всякие контакты с государственными органами, ушла в подполье, установила регулярную связь с вожаками раскольников в Рязани и регулярно вносит деньги на содержание нелегального религиозного центра (в 1967 г. перечислили в Рязань 300 рублей) и пытается проводить свою религиозную деятельность вне официального контроля со стороны государственных органов. На сделанное им предложение вернуться в официальную общину вожаки отколовшейся группы баптистов заявили, что вернутся в общину только тогда, когда руководители Пензенской общины баптистов будут руководствоваться указаниями бога, изложенными в книгах священного писания и перестанут слушаться безбожника уполномоченного» [2, д. 59, л. 53]. В беседе с уполномоченным К.Г. Ужаровская следующим образом объяснила причины выхода из общины: «... Раскол в общинах верующих произошел из-за того, что наши старшие братья в Москве ... нарушили заветы бога. Мы, верующие, в духовных делах должны выполнять не указания властей, а заветы бога. Допустили ошибку и руководи-

тели нашей общины... Григорий Михайлович Бузынин... 7 лет не допускал меня к крещению. За это время у меня могла погаснуть вера. Когда я в беседах настаивала на необходимости моего крещения, он мне говорил: «Не могу же я из-за тебя общину закрыть». Выходит, он больше слушался работавшего до Вас уполномоченного Горбачева, чем выполнял священное писание» [2, д. 41, л. 62].

Прежде чем самим непосредственно вмешиваться в церковные дела, советская власть пыталась руками самих же церковников погасить назревавший конфликт. Уполномоченный Совета по делам религиозных культов при Совете Министров СССР по Пензенской области С.С. Попов докладывал в столицу, что в течение нескольких лет деятельность представителей СЦЕХБ удавалось «нейтрализовать» путем «осуществления некоторых мероприятий через исполнительный орган общины без вмешательства в это дело местных органов государственной власти» [2, д. 41, л. 16]. Особую активность в этом направлении вынужден был проводить старший пресвитер ЕХБ Пензенской и Куйбышевской областей А.Е. Клименко. Во время своего приезда в Пензу в октябре 1964 г. по просьбе С.С. Попова им были проведены беседы с верующими, выражавшими сочувствие «раскольникам». После беседы они вновь начали посещать молитвенные собрания, распри были прекращены. Однако к середине 1960-х гг. попытки прекратить нелегальную деятельность верующих-«раскольников» путем проведения мероприятий по церковной линии успеха не имели. Тогда к 1967 г. не без помощи уполномоченного С.С. Попова руководители пензенской группы сторонников СЦЕХБ К.Г. Ужаровская и Я.М. Федяшин поссорились, вследствие чего община раскололась на две небольшие, каждая из которых стала насчитывать не более десятка человек. Причем К.Г. Ужаровская начала восстанавливать контакты с представителями официально действующей пензенской общины [1, д. 47, л. 64].

В 1969 г. старший пресвитер ЕХБ по областям и республикам Среднего Поволжья А.Е. Клименко потребовал, чтобы всем верующим Пензенской области независимо от места их проживания было разрешено собираться в населенных пунктах по месту жительства для совместных молений, поскольку, «если это не будет сделано, то все эти верующие уйдут в раскол» [1, д. 4617, л. 106]. А.Е. Клименко также было отказано в проведении совещания в Пензе представителей всех групп верующих евангельских христиан-баптистов «для разъяснения обстановки в церкви», чтобы укрепить официально функционирующие общины.

Уполномоченный Совета по делам религиозных культов при Совете Министров СССР по Пензенской области весьма здраво оценивал ситуацию на месте. В своем отчетно-информационном докладе (№ 1 – сл. от 16 января 1965 г.) он замечал: «Опыт работы показал, что воспрепятствование через исполнительные органы общин в совершении обряда «Крещения» верующих не могло не вызывать недовольства и ставило в неудобное положение членов исполнительных органов общины. В то же время воспрепятствование совершению обряда не приносило какого-либо желаемого результата. Верующий все равно оставался верующим независимо от того, был совершен над ним обряд «Крещения» или нет» [1, д. 4681, л. 49]. Так, в течение 4 лет (1960–1964 гг.) через исполнительный орган Пензенской общины евангельских христиан-баптистов не допускалась к «Крещению» работница Пензенского часового завода Л.М. Тихонова, 1938 года рождения. Но, несмотря на это, она продолжала активно посещать молитвенный дом, участвовать в певческом хоре. С.С. Попов делает адекватный ситуации вывод: «Наш интерес к лицам, над которыми должен совершаться обряд «Крещения», будет ограничиваться предотвращением фактов совершения его над несовершеннолетней молодежью и получением сведений на этих лиц, как на базу роста общины» [2, д. 41, л. 53].

Евангельские христиане-баптисты не охватывали значительные слои населения Пензенской области. Однако постсоветская действительность (события в Беково, где сектанты ушли в подполье) доказала, что религия занимает прочное место в сознании и в мировоззренческой структуре общества, и роль ее остается значимой в формировании личности и даже во влиянии на внутреннюю политику государства. С данным фактом необходимо считаться и учитывать при выработке кардинальных решений внутренней жизни российского общества.

Список литературы

1. Государственный архив Пензенской области (ГАПО). Ф. 148. Оп. 1.
2. ГАПО. Ф. 2392. Оп. 1.

References

1. State archive of the Penza region (SAPR). F. 148. In. 1.
2. SAPR. F. 2392. In. 1.

Указатель статей, опубликованных в 2012 г.

1. **Аверкин А.Г., Еремкин А.И., Камбург В.Г.** Косвенный метод оценки определяющего линейного размера капель воды, распыляемой механическими форсунками в потоке воздуха. – №3(14). – С.133–138.
2. **Аверкин А.Г., Еремкин А.И., Леонтьев В.А., Тараканов О.В., Грейсух Г.И.** Создание бактерицидной воздушной среды на основе применения электроактивированной воды в системах кондиционирования воздуха. – №1(12). – С.140–147.
3. **Альбакасов А.И.** Формализация синтеза композиционных материалов. – №1(12). – С.10–15.
4. **Альбакасов А.И., Королев Е.В.** Системное проектирование серных композиционных материалов. – №2(13). – С.18–27.
5. **Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Гарькина И.А., Князев В.А., Давыдов Г.П.** Математическое моделирование кинетики процесса сорбционной очистки сточных вод. – №1(12). – С.148–153.
6. **Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Гарькина И.А., Кошев А.Н.** Новая технология интенсификации работы станций биологической очистки сточных вод с использованием перемешивающих эрлифтных устройств. – №1(12). – С.90–98.
7. **Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Камбург В.Г., Ласьков Н.Н., Давыдов Г.П.** Математическое моделирование процессов очистки сточных вод в аэротенках. – №2(13). – С.114–120.
8. **Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Кошев А.Н., Камбург В.Г., Гарькина И.А.** Гидравлические закономерности распределения скоростей турбулентного потока в поперечном сечении водопроводных труб. – №2(13). – С.107–113.
9. **Артемова С.Ф., Королев А.А., Королева Л.А., Гарькин И.Н., Гринцов Д.М.** Пензенский регион: евангельские христиане-баптисты – взгляд в советское прошлое (1960 – первая половина 1980 гг.). – №3(14). – С.172–175.
10. **Баканова С.В., Грейсух Г.И., Родионов Ю.В.** Воздушные системы охлаждения в рефрижераторном трюме. – №1(12). – С.136–139.
11. **Бакушев С.В.** Определение активного волнового давления на массивную преграду. – №3(14). – С.95–101.
12. **Береговой А.М., Береговой В.А., Мальцев А.В., Петрянина М.А.** Тепловая эффективность эксплуатируемых жилых зданий. – №1(12). – С.107–111.
13. **Береговой В.А., Костин Д.С., Королев Е.В., Береговой А.М., Ларина Г.Ф.** Опочные породы в технологии пористой керамики для ограждающих конструкций зданий. – №3(14). – С.33–37.
14. **Бормотов А.Н., Колобова Е.А., Конопацкий Ю.В.** Методика представления композиционного материала как объекта исследования и моделирования. – №3(14). – С.44–51.
15. **Боровков Д.П., Степанов С.А., Камбург В.Г., Чичиров К.О.** Реконструкция системы аспирации сушильного оборудования предприятий строительной индустрии посредством закрутки потока в воздуховодах. – №1(12). – С.123–128.
16. **Боровков Д.П., Чичиров К.О.** Аэродинамический расчет систем аспирации при организации закрутки потока в воздуховодах. – №3(14). – С.145–148.
17. **Вдовин В.М., Мухаев А.И.** Вклеенные центровые шпонки в соединениях деревянных конструкций. – №2(13). – С.95–101.
18. **Вдовин В.М., Мухаев А.И.** Работа соединения на центровых вклеенных кольцевых шпонках при передаче ими нагрузки под углом к волокнам древесины. – №2(13). – С.102–106.
19. **Вдовин В.М., Мухаев А.И., Арискин М.В.** Предельная несущая способность центровой вклеенной кольцевой шпонки. – №3(14). – С.89–94.

-
20. **Вернигорова В.Н., Саденко С.М., Ульянов Д.В.** Термодинамические условия самопроизвольного протекания процесса диссоциации молекул воды на поверхности кремнезёма. – №2(13). – С.53–55.
21. **Вилкова Н.Г., Дорчина О.В.** Очистка сточных вод молочных комбинатов методом пенного концентрирования азотсодержащих веществ. – №2(13). – С.128–132.
22. **Гарькина И.А., Данилов А.М.** Управление в сложных технических системах: методологические принципы проектирования. – №1(12). – С.39–42.
23. **Гарькина И.А., Данилов А.М.** Формализованная оценка качества сложных систем: состояние и перспективы. – №2(13). – С.34–37.
24. **Горшков В.И., Родионов Ю.В., Тараканов О.В., Святкина А.А.** Регулирование расхода воздуха в системах вентиляции газодинамическим способом. – №2(13). – С.150–154.
25. **Гришин Б.М., Андреев С.Ю., Кошев А.Н., Вилкова Н.Г., Бикунцова М.В.** Использование электрогидродинамических устройств для реагентной обработки подземных вод. – №2(13). – С.121–127.
26. **Гришин Б.М., Андреев С.Ю., Ласьков Н.Н., Камбург В.Г., Демидочкин В.В.** Теоретические и экспериментальные исследования флотационной очистки нефтесодержащих производственных сточных вод с применением вихревых смесительных устройств. – №1(12). – С.99–106.
27. **Губанов Д.А.** Строительные композиты на основе отходов производства металлополимерных водопроводных труб. – №2(13). – С.60–63.
28. **Гуляева Т.П., Гринцова О.В.** Райнер Мария Рильке об искусстве скульптуры (Огюст Роден). – №3(14). – С.154–158.
29. **Гучкин И.С., Булаченко В.О.** Усиление железобетонной балки стальной затяжкой, накладками и фиброармированным пластиком. – №1(12). – С.69–74.
30. **Гучкин И.С., Черячукин В.В., Панков А.В.** Прочность и жёсткость балок, усиленных комбинированной системой. – №2(13). – С.84–89.
31. **Дамдинова Д.Р., Хардаев П.К., Павлов В.Е., Алексеева Э.А., Анчилов Н.Н.** О проблеме улучшения структуры пеностекол из цеолитсодержащих пород. – №2(13). – С.38–44.
32. **Данилов А.М., Гарькина И.А.** Асимптотические полиномы в смысле И.И.Этермана при аналитическом описании экспериментальных данных. – №3(14). – С.70–78.
33. **Данилов А.М., Гарькина И.А., Гарькин И.Н.** Защита от удара и сопровождающей вибрации: экспоненциально-тригонометрическая аппроксимация функций. – №3(14). – С.85–88.
34. **Демьянова В.С., Гусев А.Д.** Получение дисперсно-армированных бетонов различного функционального назначения с использованием вторичных материальных ресурсов. – №1(12). – С.56–60.
35. **Демьянова В.С., Гусев А.Д., Симакина Г.Н.** Основные направления развития рынка черепицы в строительном комплексе Пензенской области. – №1(12). – С.193–196.
36. **Ерофеев В.Т., Богатова С.Н., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Родин А.И.** Биостойкие строительные композиты каркасной структуры на смешанных вяжущих. – №1(12). – С.32–38.
37. **Ерофеев В.Т., Волгина Е.В., Казначеев С.В., Богатов А.Д., Ерыкалина И.В.** Оптимизация содержания компонентов винилэфирных композитов. – №1(12). – С.22–31.
38. **Иванкин М.А., Аверкин А.Г., Грейсх Г.И., Степанов С.А.** Сравнительный анализ эффективности работы устройств для удаления загрязненного воздуха из помещения. – №2(13). – С.138–143.
39. **Иващенко А.М., Калашников В.И., Каргин А.А.** Особенности расчета характеристик устойчивости для колонн из стали и высокопрочных бетонов в стойках каркасов зданий. – №2(13). – С.28–33.

-
40. **Иващенко А.М., Калашников В.И., Каргин А.А.** Прикладной метод расчета характеристик устойчивости для колонн из стали и высокопрочных бетонов в стойках каркасов зданий. – №3(14). – С.38–43.
41. **Камбург В.Г., Питак И.В., Моисеев В.Ф., Питак О.Я.** Управление инвестиционно-строительным проектированием в жилищной сфере. – №2(13). – С.182–188.
42. **Королев А.А., Королева Л.А., Гринцов Д.М.** Среднее Поволжье: национальная татарская культура и глобализация. – №3(14). – С.169–171.
43. **Королев Е.В., Тарасов Р.В., Макарова Л.В., Иноземцев С.С., Смирнов В.А.** Моделирование битумной композиции со структурными единицами нанометрических размеров – №3(14). – С.26–32.
44. **Королева Т.И., Ежов Е.Г., Салмин В.В., Васин М.Е.** Некоторые аспекты использования солнечной радиации в Пензенском регионе. – №2(13). – С.144–149.
45. **Королева Т.И., Кузьмишкин А.А., Васин М.Е., Ежов Е.Г., Левцев А.П.** Энергосберегающие мероприятия в системах отопления общественных зданий. – №2(13). – С.155–159.
46. **Королева Т.И., Салмин В.В., Ежов Е.Г.** Оценка эффективности использования энергосберегающих мероприятий при переходе на автономный источник теплоты. – №1(12). – С.154–160.
47. **Кочеткова М.В., Гусев Н.И.** Экспериментально-теоретический подход к расчету ростверков свайных фундаментов под колонны. – №3(14). – С.126–129.
48. **Кошев А.Н., Кузина В.В., Глебова Т.А.** Математическое моделирование как элемент управления в задачах строительной отрасли. – №2(13). – С.168–177.
49. **Кошевой О.С., Глебова Т.А., Чиркина М.А.** Диагностика показателей концентрации распределения среднедушевых денежных доходов населения на основе энтропийного подхода. – №2(13). – С.193–196.
50. **Кубис В.А., Степанов С.А., Снежкина О.В., Левцев А.П.** Моделирование эффективности работы защитной газозащитной завесы. – №1(12). – С.118–122.
51. **Кузин Н.Я., Багдоев С.Г.** Оценка влияния внешних факторов на несущую способность конструкций гражданских зданий. – №2(13). – С.79–83.
52. **Кузнецов Ю.С., Кувшинова О.А.** Адсорбционное понижение прочности минералов в процессе измельчения. – №2(13). – С.49–52.
53. **Логанина В.И., Кислицына С.Н., Черячукин В.В., Акжигитова Э.Р.** Эффективность применения в сухих строительных смесях органоминеральных добавок на основе смешанослойных глин. – №3(14). – С.57–60.
54. **Логанина В.И., Симонов Е.Е.** Закономерности формирования структуры и свойств известковых композитов с применением модифицированного диатомита. – №2(13). – С.56–59.
55. **Мазявкина В.Д., Круглов Ю.В.** Экспресс-метод расчета эффективности транспортной сети города. – №3(14). – С.149–153.
56. **Макридин Н.И., Максимова И.Н., Симаков М.В.** Структура и свойства керамзитового гравия для бетонов повышенной прочности. – №3(14). – С.52–56.
57. **Макридин Н.И., Скачков Ю.П., Максимова И.Н., Суров И.А.** Комплексная оценка механического поведения заполнителей бетона из горных пород. – №3(14). – С.18–25.
58. **Максимова И.Н., Макридин Н.И.** Технологические особенности формирования структуры и свойств конструкционных легких бетонов. – №2(13). – С.45–48.
59. **Максимчук О.В., Горбунов В.Н., Мещерякова О.К.** Особенности формирования кластерной системы в строительной сфере. – №2(13). – С.197–199.
60. **Максимчук О.В., Ткаченко И.В., Попова И.В.** Разработка концепции региональной политики малоэтажного жилищного строительства. – №2(13). – С.189–192.
61. **Манойло Е.В., Манойло Ю.А., Камбург В.Г., Моисеев В.Ф.** Применение отходов содового производства в строительстве. – №1(12). – С.43–50.
62. **Миряев Б.В.** Оптимизация геометрической схемы сетчатых куполов, образованных на основе икосаэдра. – №3(14). – С.122–125.

63. **Митягин С.Д.** Современные проблемы подготовки градостроителей высшей квалификации. – №1(12). – С.161–164.
64. **Михайлов П.Г., Соколов А.В.** Моделирование чувствительных элементов датчиков механических напряжений в строительных конструкциях. – №3(14). – С.110–117.
65. **Михайлов П.Г., Соколов А.В.** Синтез и анализ физико-математических моделей емкостных чувствительных элементов датчиков, используемых в системах мониторинга состояния строительных конструкций. – №3(14). – С.102–109.
66. **Монахов В.А.** Автоматизированное формирование геометрической матрицы на основе графа стержневой системы. – №2(13). – С.90–94.
67. **Недоговоров А.Д.** Определение упругих характеристик строительных материалов при растяжении. – №3(14). – С.118–121.
68. **Нежданов К.К., Жуков А.Н.** Использование сталебетона для предотвращения обрушения ферм покрытия при пожаре. – №3(14). – С.130–132.
69. **Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н.** Применение толстостенных двутавровых крановых рельсов. – №3(14). – С.79–84.
70. **Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н.** Трёхглавый рельсовый блок для подкрановых балок. – №1(12). – С.66–68.
71. **Нефёдов В.А.** Качество городской среды как интегрирующий фактор архитектуры, градостроительства и дизайна. – №1(12). – С.165–169.
72. **Овчинников И.Г., Скачков Ю.П., Овчинников И.И., Юшков Б.С.** Сравнительный анализ моделей грунтовых оснований, применяемых при расчете транспортных сооружений. – №3(14). – С.61–69.
73. **Овчинников И.И., Мигунов В.Н., Скачков Ю.П.** Коррозионно-механическое разрушение железобетонных конструкций при одновременном действии хлоридной коррозии и карбонизации. – №2(13). – С.72–78.
74. **Овчинников И.И., Мигунов В.Н., Скачков Ю.П.** Модель деформирования бетона и полимербетона при ползучести в условиях воздействия агрессивной среды. – №2(13). – С.64–71.
75. **Овчинникова Н.П.** О специфике архитектуроведения. – №1(12). – С.170–177.
76. **Прохоров С.Г., Родионов Ю.В., Аржаева Н.В., Кожунов А.А., Салмин В.В.** Утилизация теплоты уходящих газов технологических печей машиностроительного завода. – №1(12). – С.129–135.
77. **Прохоров С.Г., Родионов Ю.В., Тараканов О.В., Кожунов А.А.** Оценка загрязнения атмосферы выбросами газифицированных котлов малой мощности при применении теплоутилизаторов «сухого» типа. – №2(13). – С.133–137.
78. **Резник Г.А., Малышев А.А.** Анализ и оценка потенциала устойчивости эколого-экономической системы. – №1(12). – С.197–204.
79. **Селяев В.П., Низина Т.А., Егунова Е.А.** Сопротивление полиуретановых композитов действию УФ-облучения. – №1(12). – С.4–9.
80. **Селяев В.П., Осипов А.К., Неверов В.А., Маштаев О.Г., Сидоров В.В.** Полиструктурная модель теплоизоляционного материала на основе дисперсного микрокремнезёма. – №2(13). – С.5–11.
81. **Селяев В.П., Селяев П.В., Сорокин Е.В.** Оценка надежности железобетонных внецентренно сжатых колонн. – №1(12). – С.61–65.
82. **Селяев В.П., Селяев П.В., Сорокин Е.В., Колотушкин А.В., Кечуткина Е.Л.** Влияние сил трения на прочность бетона. – №3(14). – С.12–17.
83. **Селяев В.П., Цыганов В.В., Уткин И.Ю.** Комбинированные сборно-монолитные перекрытия на основе предварительно напряженных железобетонных балок безопалубочного формования. – №3(14). – С.5–11.
84. **Сураева Е.Н., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Смирнов В.Ф., Ерофеев В.Т.** Свойства цементно-песчаных композитов, модифицированных биоцидной добавкой. – №1(12). – С.16–21.

85. **Темнов В.Г.** Принятие решений при проектировании искусственной среды обитания с использованием бионических принципов конструирования. – №1(12). – С.178–183.

86. **Туманов В.А.** Повышение выносности стальных подкрановых балок. – №1(12). – С.75–82.

87. **Фильчакина И.Н., Береговой А.М., Ежов Е.Г., Тараканов О.В.** Инженерная методика расчёта воздухораспределителя локальной раздачи воздуха с интенсивным гашением скорости приточных струй. – №1(12). – С.112–116.

88. **Фильчакина И.Н., Ерёмкин А.И., Береговой А.М., Ежов Е.Г.** Новые результаты экспериментальных исследований на модели воздухораспределителя для локальной раздачи воздуха. – №3(14). – С.139–144.

89. **Фокин Г.А., Фолимагина О.В.** Повышение эффективности материалов на основе гипсового вяжущего путем активации воды затворения вихрединамическим полем. – №1(12). – С.51–55.

90. **Хаметов Т.И., Букин С.Н.** Экономическая эффективность инвестирования в инновационную деятельность предприятий строительного комплекса. – №1(12). – С.188–192.

91. **Хаметов Т.И., Букин С.Н.** Анализ практики в сфере управления объектами жилищно-коммунального хозяйства. – №3(14). – С.159–164.

92. **Хрусталева Б.Б., Демьянова В.С., Ганиев М.Г.** Формирование стратегии развития предприятий строительного комплекса на основе системного подхода. – №2(13). – С.178–181.

93. **Хрусталева Б.Б., Логанина В.И., Учаева Т.В.** Эффективность управления производственными процессами в рамках мониторинга. – №1(12). – С.184–187.

94. **Черкасов В.Д., Савченкова Г.А., Артамонова Т.А., Юркин Ю.В.** Композиции из неполярных каучуков для неотверждаемых герметиков. – №2(13). – С.12–17.

95. **Черняев А.А.** К вопросу о расчете пластинок средней толщины из условия жесткости. – №1(12). – С.83–89.

96. **Чертес К.Л., Зеленцов Д.В., Сафонова Н.А., Пыстин В.Н., Бикунова М.В., Малиновский А.С.** Обработка осадков сточных вод нефтяного комплекса. – №2(13). – С.160–167.

97. **Широков А.И.** Организация структуры рынка объектов, не завершенных строительством, и способы оценки их стоимости. – №3(14). – С.165–168.