

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

Выходит 3 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 13.02.2013.
Формат 60x84 1/8.
Уч.-изд.л. 21,6. Тираж 500 экз. Первый завод 100.
Заказ № 41.

Отпечатано в издательстве ПГУАС

РЕГИОНАЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

1(15)/2013

Содержание

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ИЗДЕЛИЯ** 4

**Селяев В.П., Ошкина Л.М., Селяев П.В.,
Сорокин Е.В.**
**ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ
СТОЙКОСТИ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ С
УЧЕТОМ СУЛЬФАТНОЙ КОРРОЗИИ**..... 4

**Селяев В.П., Неверов В.А., Куприяшкина Л.И.,
Колотушкин А.В., Сидоров В.В.**
**МИКРОСТРУКТУРА ПЕРСПЕКТИВНЫХ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА
ОСНОВЕ ДИАТОМИТОВ СРЕДНЕГО
ПОВОЛЖЬЯ**..... 12

Леснов В.В., Ерофеев В.Т.
**СВОЙСТВА МАТРИЧНЫХ И КЛЕЕВЫХ
КОМПОЗИЦИЙ КАРКАСНЫХ БЕТОНОВ,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ПОЛИАКРИЛНИТРИЛОВОЙ ФИБРОЙ** 18

Леснов В.В., Ерофеев В.Т.
**ВЛИЯНИЕ ВИДА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ
ДИСПЕРСНОЙ АРМАТУРЫ НА ХАРАКТЕР
РАБОТЫ В ЦЕМЕНТНОЙ МАТРИЦЕ
КАРКАСНОГО БЕТОНА**..... 23

Бичевой П.П., Козырева Е.Н.
**ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ГИДРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ПРИГОДНОСТИ
МНОГОСЛОЙНОГО КРОВЕЛЬНОГО
ПОКРЫТИЯ БИТУМНО-ПОЛИМЕРНЫМИ
КОМПОЗИЦИЯМИ**..... 28

Низина Т.А., Кочетков С.Н.
**ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ
НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ
ВЯЖУЩИХ**..... 35

**Романенко И.И., Петровнина И.Н., Пинт Э.М.,
Романенко М.И.**
**КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ
ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ БЕТОНОВ
В ОРГАНИЧЕСКИХ СРЕДАХ**..... 42

Логанина В.И., Симонов Е.Е.
**ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СУХИЕ
СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ДИАТОМИТА**..... 52

© Авторы публикаций, 2013

© Е.Г. Лапшина, дизайн обложки, 2013

© ПГУАС, 2013

Мальцев А.В., Береговой А.М., Береговой В.А., Дерина М.А. ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ В СТАДИИ УВЛАЖНЕНИЯ И ПРОМЕРЗАНИЯ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ.....	57	Боровков Д.П., Чичиров К.О. СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ С ЗАКРУТКОЙ ПОТОКА В ВОЗДУХОВОДАХ.....	115
Бирюзова Е.А. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕ- НИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯ- ЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	62	АРХИТЕКТУРА.....	122
Селяев В.П., Данилов А.М., Круглова А.Н. ОЦЕНКА СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ ПО ПАРАМЕТРАМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ.....	67	Круглов Ю.В., Стецурин Е.С. «СКОРОСТЬ СООБЩЕНИЯ» В АНАЛИЗЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАССЕЛЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ	122
Логанина В.И., Тарасов Р.В., Симонов Е.Е. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СУХИЕ СТРОИ- ТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО ДИАТОМИТА	75	Мазявкина В.Д., Круглов Ю.В. ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭКСТРАПОЛЯЦИИ.....	128
Демьянова В.С., Гусев А.Д. РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ЧЕРЕПИЦЫ	80	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ	137
Ерошкина Н.А., Коровкин М.О., Аксенов С.В. ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА МАГМАТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД НА АКТИВНОСТЬ ГЕОПОЛИМЕРНОГО ВЯЖУЩЕГО	84	Гарькина И.А., Данилов А.М., Хнаев О.А. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ: СЕЛЕКЦИЯ ИНФОРМАТИВНЫХ СИГНАЛОВ	137
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	90	Хрусталева Б.Б., Логанина В.И., Учаева Т.В. ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО- ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛОМ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	142
Ласьков Н.Н. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ СТЕН ПРИ СОВМЕСТ- НОМ ДЕЙСТВИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИЛ.....	90	Резник Г.А., Малышев А.А. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФАКТОР КАК КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ БЛАГОСОСТОЯНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ПЕНЗЕНСКОГО РЕГИОНА.....	146
Гучкин И.С., Булаченко В.О. ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ БАЛОК ПО ФИК- СИРОВАННЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ПРОГИБА, ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН И РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ТРЕЩИНАМИ ...	96	Кузин Н.Я., Толстых Ю.О., Арефьева М.С. УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕМ – РОССИЙСКИЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ	152
Ивашенко А.М., Калашников В.И., Каргин А.А. ВАРИАНТНЫЙ И КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОДЫ АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ КО- ЛОНН В СТОЙКАХ КАРКАСОВ ЗДАНИЙ ..	100	Тюкленкова Е.П., Пресняков В.В. СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ ФУНКЦИО- НАЛЬНОГО ЗОНИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЁННОГО ПУНКТА НА ПРИМЕРЕ РАБОЧЕГО ПОСЁЛКА ЗОЛОТАРЁВКА ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	158
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ	107	Петрянина Л.Н., Карпова О.В. СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ПРОЕКТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ	162
Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Исаева А.М., Бикунцова М.В., Петрунин А.А. К ВОПРОСУ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТРУБЧАТОГО ГИДРОДИ- НАМИЧЕСКОГО ФЛОКУЛЯТОРА.....	107	Арутюнян И.А. ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ НА ОСНОВЕ СИСТЕМАТИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА	167

Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS.....	4	BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS	90
Selyaev V.P., Oshkina L.M., Selyaev P.V., Sorokin E.V.		Laskov N.N.	
RESEARCH OF CHEMICAL FIRMNESS OF CEMENT CONCRETE TAKING INTO ACCOUNT SULPHATIC CORROSION	4	EXPERIMENTAL THEORY OF WALLS RESISTANCE UNDER JOINT ACTION OF VERTICAL AND HORIZONTAL FORCES ..90	
Seljaev V.P., Neverov V.A., Kupriyashkina L.L., Kolotushkin A.V., Sidorov V.V.		Guchkin I.S., Bulavenko O.V.	
MICROSTRUCTURE OF PERSPECTIVE THERMAL INSULATING MATERIALS MADE OF DIATOMITE FROM MIDDLE VOLGA REGION.....	12	EXPLOITED BEAM STATE EVALUATION UNDER FIXED BUCKLING, CRACK OPENING WIDTH AND DISTANCE BETWEEN CRACKS	96
Lesnov V.V., Erofeev V.T.		Ivashchenko A.M., Kalashnikov V.I., Kargin A.A.	
PROPERTIES OF MATRIX AND GLUE COMPOSITIONS OF CARCASS CONCRETE, MODIFIED BY POLYACRYLONITRILE FIBER	18	ALTERNATIVE AND COMBINED METHODS OF COLUMNS STABILITY ANALYSIS IN RACKS OF BUILDING FRAMEWORKS	100
Lesnov V.V., Erofeev V.T.		ENGINEERING SYSTEMS.....	107
THE INFLUENCE OF THE METAL FIBRE TYPE ON THE NATURE OF CARCASS CONCRETE WORK IN THE CEMENT MATRIX	23	Andreev S.Yu., Grishin B.M., Isaeva A.M., Bikunova M.V., Petrunin A.A.	
Bichevoy P.P., Kozyreva K.N.		TO THE QUESTION OF HYDRAULICS COMPUTATION OF PIPE HYDRODYNAMIC FLOCCULATOR	1087
ESTIMATION OF TECHNOLOGY FOR RENEWAL WATERPROOFING FITNESS OF MULTI-LAYERED ROOFING COVERAGE BY BITUMINOUS-POLYMERIC COMPOSITIONS	28	Borovkov D.P., Chichirov K.O.	
Nizina T.A., Kochetkov S.N.		ASPIRATION SYSTEMS WITH FLOW SWIRLING IN THE AIR DUCT	115
OPTIMISATION OF NANOMODIFIED CEMENT BINDING COMPOSITIONS	35	ARCHITECTURE	122
Romanenko I.I., Petrovnina I.N., Pint E.M., Romanenko M.I.		Kruglov U.V., Stetsurina E.S.	
CORROSION RESISTANCE OF SLAG-ALKALINE CONCRETE IN ORGANIC ENVIRONMENTS	42	«TRAFFIC SPEED» IN POPULATION SETTLEMENT ANALYSIS	122
Loganina V.I., Simonov E.E.		Mazyavkina V.D., Kruglov Y.V.	
HEAT INSULATING DRY MORTORS WITH DIATOMITE	52	EVALUATION OF TRANSPORT FLOWS OF CITY ROADS NETWORK USING THE METHOD OF EXTRAPOLATION.....	128
Maltsev A. V., Beregovoy A.M., Beregovoy V.A., Derina M.A.		ECONOMICS AND MANAGEMENT..	137
THE INFLUENCE OF HEAT CONDUCTIVITY OF EXTERNAL ENCLOSURE STRUCTURES IN THE STAGE OF HUMIDIFICATION AND FREEZING ON THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS	57	Garkina I.A., Danilov A.M., Khnaev O.A.	
Biryuzova E.A.		QUALITY CONTROL OF DYNAMIC SYSTEMS: SELECTION OF INFORMATIVE SIGNALS	137
IMPROVMENT OF HEAT SUPPLY NETWORKS ENERGY EFFICIENCY USING MODERN INSULATION MATERIALS	62	Khrustalev B.B., Loganina V.I., Uchaeva T.V.	
Seljaev V.P., Danilov A.M., Kruglova A.N.		ORGANIZATIONAL ECONOMIC MANAGEMENT MECHANISM OF BUILDING MATERIALS COMPANIES COMPETITIVE POTENTIAL	142
EVALUATION OF MODIFIED EPOXY COMPOSITES PROPERTIES BY ACOUSTIC EMISSION PARAMETRES	67	Reznik G.A., Malyshev A.A.	
Loganina V.I., Tarasov R.V., Simonov E.E.		ECOLOGICAL AND ECONOMICAL FACTOR AS A CRITERION OF POPULATION WELFARE ASSESSMENT IN THE PENZA REGION.....	146
INSULATING DRY MIXTURES WITH MODIFIED DIATOMITE	75	Kuzin N.J., Tolstyh U.O., Arefeva M.S.	
Demyanov V.S., Gusev A.D.		ENERGY SAVING CONTROL – RUSSIAN AND FOREIGN EXPERIENCE	152
RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY OF DOMESTIC CONSTRUCTION TILE PRODUCTION	80	Tvuklenkova E.P., Presnyakov V.V.	
Eroshkina N.A., Korovkin M.O., Aksenov S.V.		MAPPING THE SCHEME OF FUNCTIONAL ZONING OF VILLAGES ON THE EXAMPLE OF ZOIOTAREVKA IN PENZA REGION .	158
THE INFLUENCE OF MAGMATIC ROCKS MINERAL COMPOSITION ON THE ACTIVITY OF GEOPOLYMER BINDER.....	84	Petryanina L.N., Karpova O.V.	
		A QUALITY MANAGEMENT SYSTEM IN THE DESIGN ORGANIZATION	162
		Arutyunyan I.A.	
		INNOVATIVE APPROACHES BASED ON BUILDING COMPLEX DEVELOPMENT SYSTEMATIZATION	167

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 691-022.312

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

Россия, 430006, г. Саранск,
ул. Большевистская, д. 68
тел.: (8342)47-77-11; факс: (8342)47-77-51

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

Ошкина Людмила Михайловна,
кандидат технических наук, доцент

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

Сорокин Евгений Вячеславович,
преподаватель кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: evssar80@mail.ru

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

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
Construction Sciences, Doctor of Sciences,
Professor, Head of the department «Building
designs»
E-mail: ntorm80@mail.ru

Oshkina Ludmila Mihailovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor

Selyaev Pavel Vladimirovich,
Candidat of Sciences, Associate professor
E-mail: ntorm80@mail.ru

Sorokin Evgeny Vyacheslavovich,
lecturer of the department «Building designs»
E-mail: evssar80@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ С УЧЕТОМ СУЛЬФАТНОЙ КОРРОЗИИ

В.П. Селяев, Л.М. Ошкина, П.В. Селяев, Е.В.Сорокин

Приведены результаты исследования механизма протекания сульфатной коррозии в
наполненных цементных композитах.

*Ключевые слова: коэффициент химической стойкости, наполненный композит, коррозия,
сульфаты, агрессивная среда.*

RESEARCH OF CHEMICAL FIRMNESS OF CEMENT CONCRETE TAKING INTO ACCOUNT SULPHATIC CORROSION

V.P. Selyaev, L.M. Oshkina, P.V. Selyaev, E.V. Sorokin

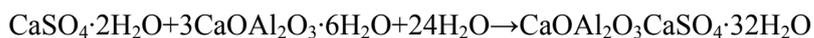
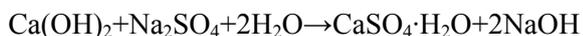
The results of researching the mechanism of sulphate corrosion in filled cement composites are
given in the article.

Keywords: coefficient of chemical stability, filled composite, corrosion, sulphatic corrosion.

Сульфатная коррозия цементных бетонов характеризуется процессами, развитие которых сопровождается накоплением в порах бетона малорастворимых продуктов реакции или веществ, способных при фазовых переходах, полимеризации увеличивать объем твердой фазы в порах бетона. При этом в бетоне создаются внутренние напряжения, разрушающие структуру бетона.

Сульфатная агрессия является наиболее распространенной, так как сульфат-ионы присутствуют практически во всех видах природных и сточных вод.

В процессе сульфатной коррозии цементного камня образуются гипс и эттрингит по следующей схеме:



Объем, занимаемый эттрингитом, в 2,27 раза больше, чем объем исходных продуктов. На начальном этапе коррозии образующиеся продукты уплотняют и упрочняют бетон, но затем избыточное накопление продуктов реакции приводит к образованию трещин и снижению прочности бетона.

Несмотря на то, что сульфатная коррозия бетона была предметом обширных исследований, отдельные стороны этого сложного процесса до сих пор не ясны.

В работах многих исследователей достаточно убедительно утверждается, что при коррозии третьего вида свойства бетона изменяются значительно и неравномерно по глубине (послойно). Однако экспериментально эти предположения не подтверждены и нет данных, о кинетике изменения в процессе сульфатной коррозии прочностных и деформативных свойств цементного камня на поверхности и по объему изделия.

Для определения механизма взаимодействия цементного камня с агрессивными средами методом склерометрической микротвердости изучен характер изменения прочностных и деформативных свойств по высоте поперечного сечения экспериментальных образцов из наполненных композитов, оптимальные составы которых были подобраны на основании предварительных исследований, выполненных Л.И. Куприяшкиной, Л.М. Ошкиной. По линиям изменения микротвердости были построены изохроны деградации, отражающие неравномерное распределение по площади поперечного сечения свойств материала под действием агрессивного раствора.

Параллельно с изохронами определялись прочностные и сорбционные характеристики экспериментальных составов.

На рис. 1-7 представлены графики изменения основных прочностных, деформативных и сорбционных характеристик образцов из наполненных композитов на основе отходов производства ферросилиция (ОПФ). Составы 1 и 2 различаются технологией приготовления. В первом случае скорость перемешивания ν , во втором – 10ν .

Прочность экспериментального состава на 90-е сутки экспонирования в агрессивной среде превосходит прочность контрольного состава: ОПФ (1) – на 40 % (рис. 1), ОПФ (2) – на 70 %.

В характере изменения массы и объема образцов также можно отметить общие тенденции. Увеличение массы образцов происходит до 56 суток, увеличение объема – до 28 суток (см. рис. 2, 3).

Изохроны деградации образцов, наполненных ОПФ в количестве 10 % (см. рис. 3), на 7-е сутки экспонирования в 2 %-м растворе серной кислоты представляют собой прямую линию, проходящую несколько ниже первоначальной, соответствующей микротвердости в 0 суток; деления на зоны не зафиксировано. Это можно объяснить тем, что накопление эттрингита и гипса в порах цементного камня не достигло объемов, влияющих на прочность. Зона накопления объемов продуктов реакции, влияющих на прочность, фиксируется только на 14-е сутки выдержки в агрессивном растворе.

Максимальные абсолютные значения микротвердости появляются при критическом заполнении пор продуктами реакции на 56-е сутки экспонирования. На 120-е сутки линия микротвердости располагается выше первоначальной; присутствует деление на три зоны. Полное сглаживание «пиков» происходит лишь на 155-е сутки. Именно с этого момента начинается деградация материала по всему объему. Максимальное увеличение микротвердости в зоне «пиков» – в 2 раза.

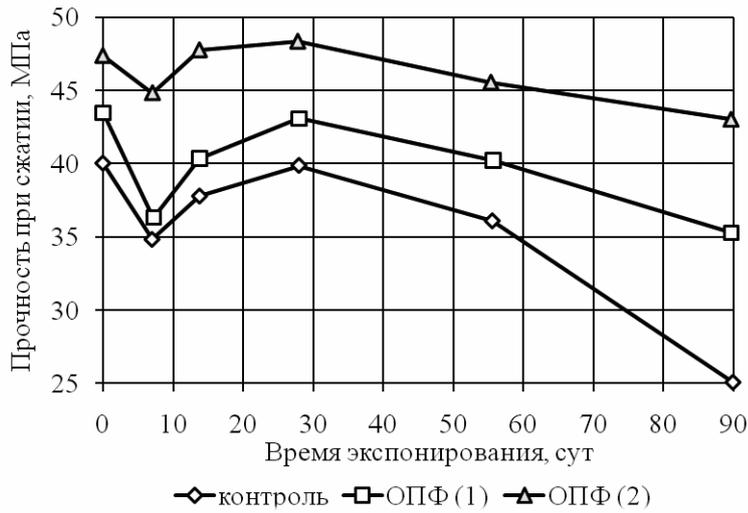


Рис. 1. Изменение прочности в 2 % растворе H_2SO_4 (равноподвижные составы с ОПФ)

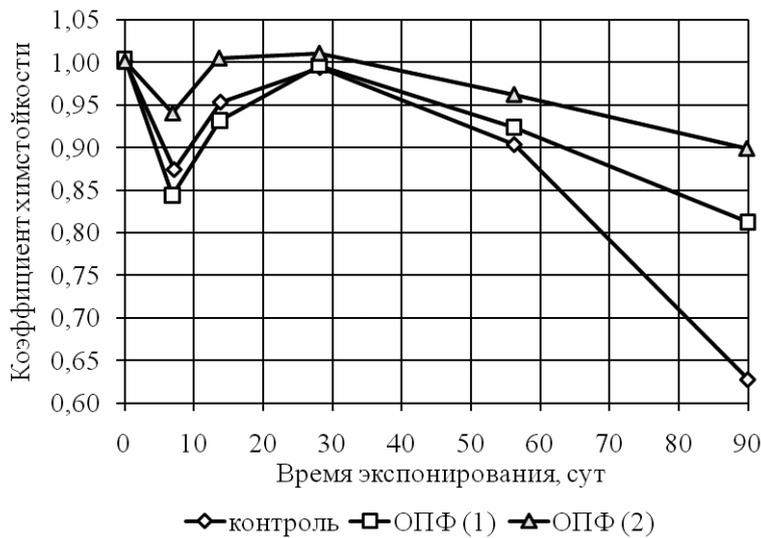


Рис. 2. Коэффициент химстойкости в 2 % растворе H_2SO_4 (равноподвижные составы с ОПФ)

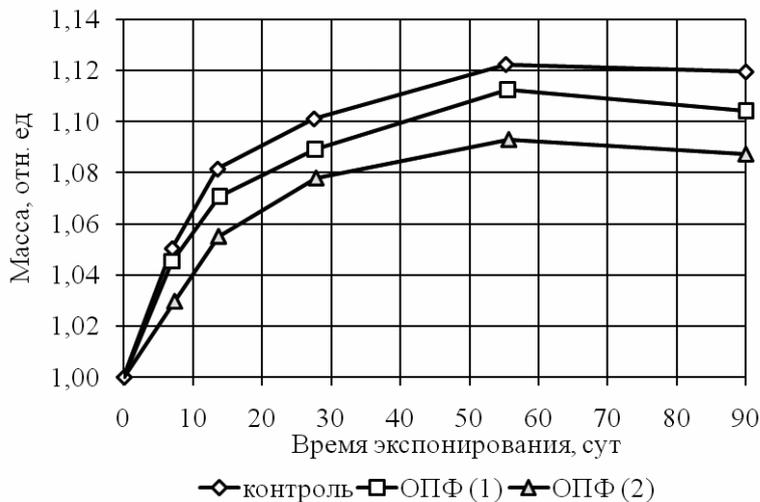


Рис. 3. Изменение массы в 2 % растворе H_2SO_4 (равноподвижные составы с ОПФ)

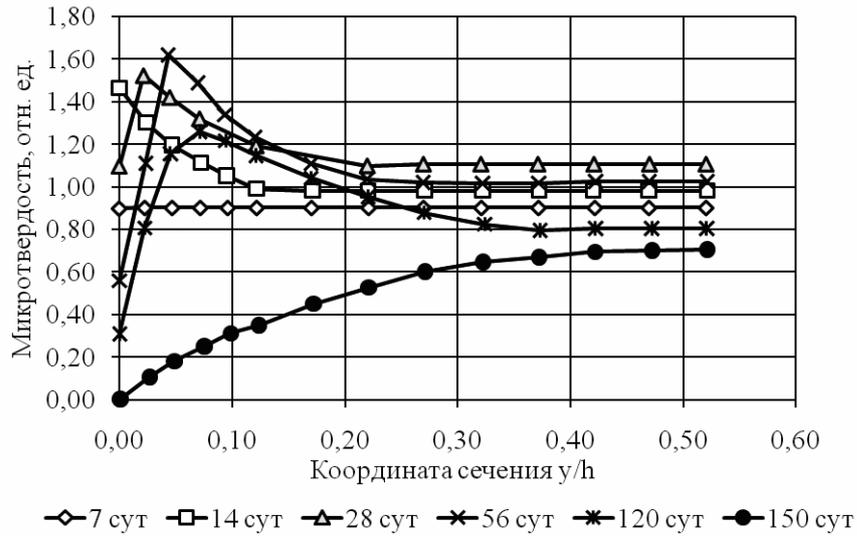


Рис. 4. Изменение микротвердости в 2 % растворе H_2SO_4 (наполнение ОПФ – 10 % (1))

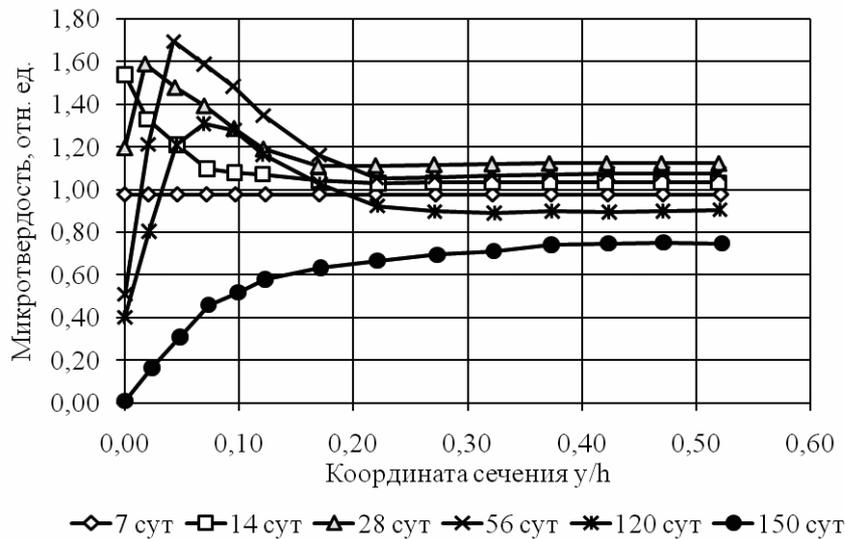


Рис. 5. Изменение микротвердости в 2 % растворе H_2SO_4 (наполнение ОПФ – 10 % (2))

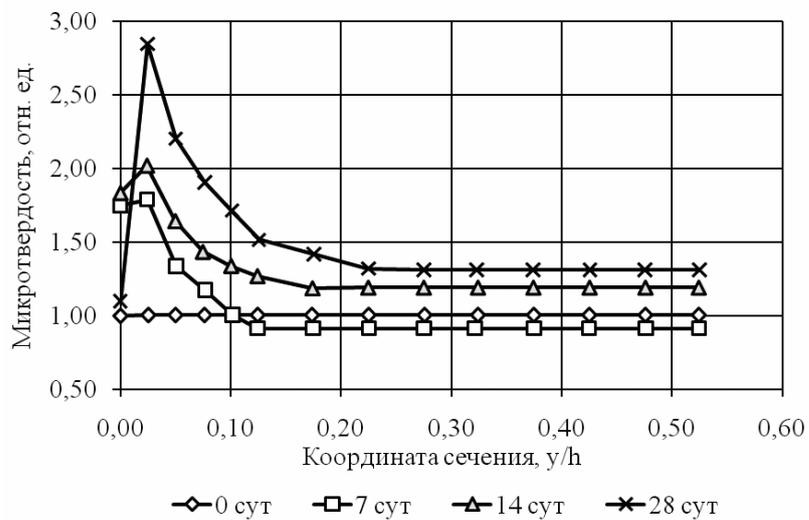


Рис. 6. Изменение микротвердости в 2 % растворе H_2SO_4 (наполненный состав без нагрузки)

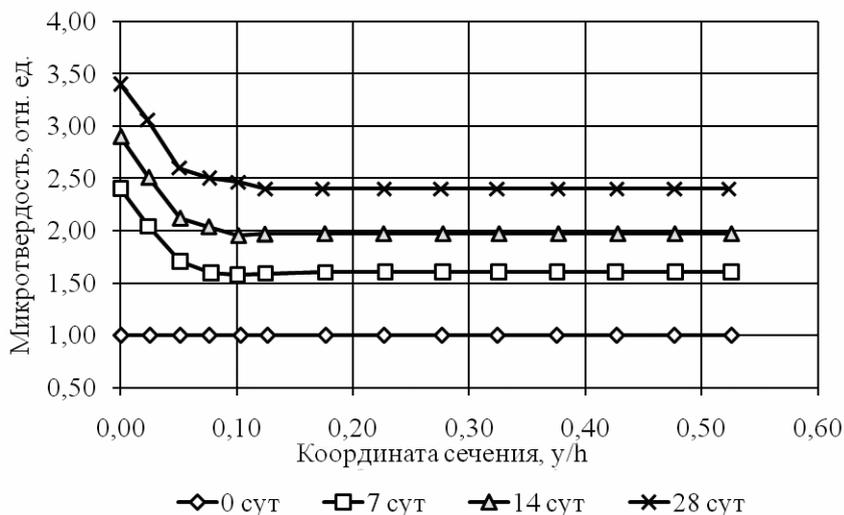


Рис. 7. Изменение микротвердости в 2 % растворе H_2SO_4 (наполненный состав, $0,7P_{разр}$)

Химическое сопротивление цементных композитов, подвергавшихся действию сжимающих нагрузок разных уровней, оценивалось, как и в случае ненагруженного материала, по изменению прочностных свойств.

Из анализа изохрон деградации цементных композитов следует, что уровень нагружения влияет на характер взаимодействия агрессивной среды с компонентами материала.

На рис. 6-7 представлены графики изменения микротвердости по высоте поперечного сечения образцов контрольного состава, испытанных в течение 28 суток при одновременном воздействии сжимающих нагрузок разных уровней и 2 %-го раствора серной кислоты.

Характер изменения микротвердости по высоте поперечного сечения остается таким же, как и на образцах, экспонированных без приложения сжимающих напряжений. Во внешних слоях образцов в начальные сроки экспозиции отмечается зона с повышенными физико-механическими свойствами. Однако абсолютные значения микротвердости образцов, выдержанных в течение 28 суток в условиях сжимающих нагрузок и агрессивной среды, превышают абсолютные значения микротвердости образцов, экспонированных в 2 %-м растворе серной кислоты без приложения сжимающих напряжений. Зона проникновения агрессивной среды у образцов, экспонированных под нагрузкой, значительно меньше, чем у образцов, экспонированных без нагрузки. С ростом уровня сжимающих напряжений (от $0,3$ до $0,7 P_{разр}$) вследствие уплотнения структуры глубина проникновения агрессивной среды в материал снижается.

Необходимо отметить, что для образцов, экспонированных в 2 %-м растворе серной кислоты под нагрузкой, не замечено первоначального снижения прочности и микротвердости.

Уплотнение структуры сжимающими напряжениями приводит к увеличению прочностных показателей и микротвердости в пределах поперечного сечения образца.

Установлено, что прочностные характеристики можно с достаточной точностью оценивать с помощью микротвердости.

Одним из основных показателей химического сопротивления материала является ордината переднего фронта коррозии, характеризующая глубину повреждения цементного камня (глубинный показатель). Этот параметр в общем виде предложено определять функциональной зависимостью вида:

$$a = k(\xi) \sqrt{Dt}, \quad (1)$$

где t – время воздействия агрессивного раствора; $k(\xi)$ – коэффициент, учитывающий инструментальную точность определения координаты «а»; для цементного камня можно принять $k(\xi) = 0,1$; D – коэффициент диффузии.

На рис. 8 представлен график, отражающий зависимость между экспериментальными и теоретическими значениями ординаты переднего фронта коррозии. На рис. 9 приведена зависимость коэффициента переноса агрессивной среды D для контрольного ненаполненного состава, рассчитанного по формуле $D = a^2/0,01t$.

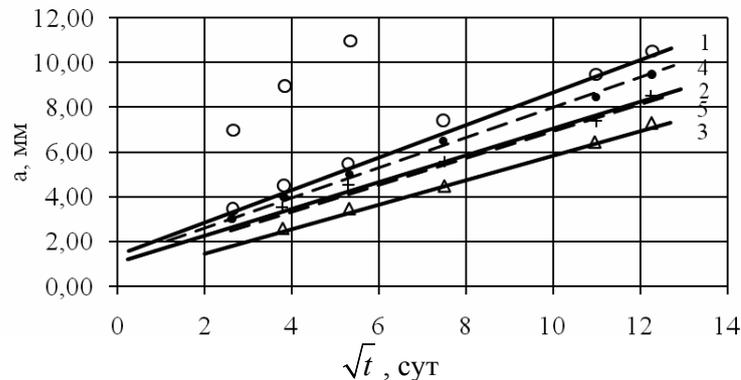


Рис. 8. Изменение глубинного показателя a во времени

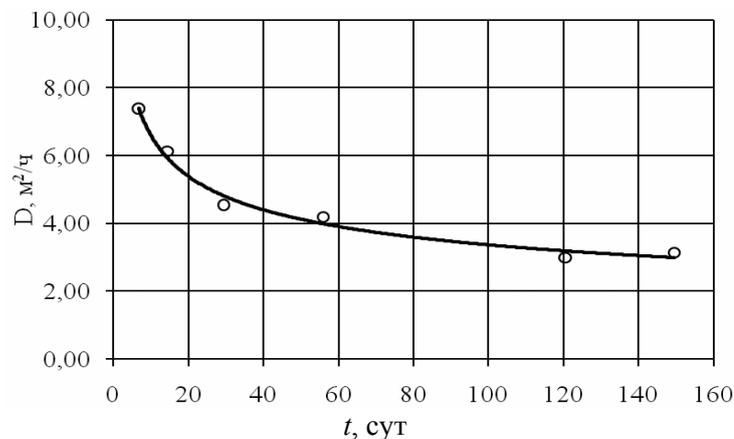


Рис. 9. Зависимость коэффициента переноса агрессивной среды D для контрольного ненаполненного состава

Исследованиями влияния совместного действия сжимающей нагрузки и 2 %-го водного раствора H_2SO_4 установлено, что сжимающие напряжения замедляют процесс переноса агрессивной среды в объем образца. На рис. 10 по результатам склерометрических исследований изображены графики зависимости глубинного показателя a от длительности экспозиции (\sqrt{t}), уровни сжимающих напряжений $0,3P_{разр}$ (1), $0,5P_{разр}$ (2), $0,7P_{разр}$ (3) для цементных составов без наполнителя (К – контрольные), наполненных молотым шлаком (Ш). Цементные композиции изготавливались путем скоростного перемешивания (*) и перемешивания в обычном смесителе.

Анализ полученных графиков показывает, что технология изготовления, вид добавки, уровень напряжений не влияют на вид функциональной зависимости глубинного показателя от длительности действия агрессивной среды. Сжимающие напряжения замедляют процесс переноса, и коэффициент диффузии уменьшается в 2-3 раза.

Зависимость коэффициентов диффузии ($D \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{ч}$) от уровня сжимающей нагрузки

Вид наполнителя	Уровень нагрузки $P_{разр}$			
	0	0,3	0,5	0,7
Контрольный (К), без наполнителя	4,5	3,0	3,0	1,8
Ферросилиций (Ф)	3,0	3,0	1,8	0,93
Ферросилиций (Ф*)	1,9	1,8	0,93	0,59
Шлак (Ш)	3,7	4,5	3,0	1,8
Шлак (Ш*)	3,0	3,0	1,8	0,93

* – скоростное перемешивание

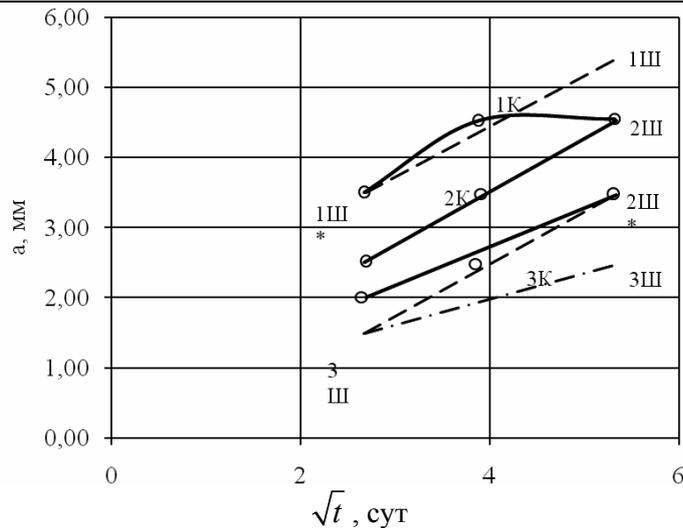


Рис. 10. Зависимость глубинного показателя от длительности экспозиции

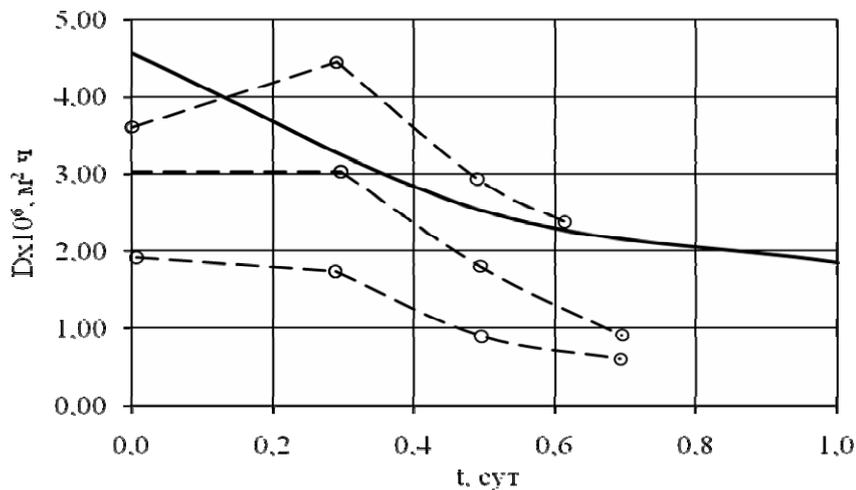


Рис. 11. Зависимость коэффициента диффузии от уровня сжимающих напряжений (по данным на 28-е сутки)

Вторым основным показателем химического сопротивления материалов является коэффициент химической стойкости $K_{x.c}$, определяемый для внешних, контактирующих с агрессивной средой слоев материала. Склерометрическими исследованиями было установлено, что значения прочности и твердости имеют тесную корреляцию, и, следовательно, $K_{x.c}$ можно определять методами измерения твердости, микротвердости материала.

Коэффициент химической стойкости $K_{x.c}$ принято определять по изменению прочности (σ) или твердости (H) материала после определенного срока экспонирования ($K_{x.c} = \sigma_t / \sigma_0 = H_t / H_0$).

Для аппроксимации временной зависимости $K_{x.c}$ предлагается (ГОСТ 25881-83) использовать функцию вида

$$\lg K_{x.c} = a + b \lg \tau,$$

где $\lg K_{x.c}$ и $\lg \tau$ – логарифмы коэффициента химической стойкости и длительности экспонирования; a и b – постоянные для данного вида материала.

Многочисленные исследования показали, что наиболее адекватно кинетика изменения свойств материала описывается функцией вида

$$K_{x.c} = b - \alpha t^\beta. \quad (2)$$

В общем случае при $t=0$ $b=1$. Но если материал подвергался действию агрессивной среды до начала испытаний, то можно принять $b<1$; если в процессе взаимодействия материала с агрессивной средой происходит его временное упрочнение, то можно принять $b>1$.

Изохроны деградации цементного камня в водном растворе серной кислоты показывают временное упрочнение материала. Тогда при определении $K_{x,c}(t)$ можно величину b' принять по данным изохрон деградации.

На рис. 12 представлен график изменения коэффициента химической стойкости для образцов, изготовленных на основе ОПФ (см. рис. 4).

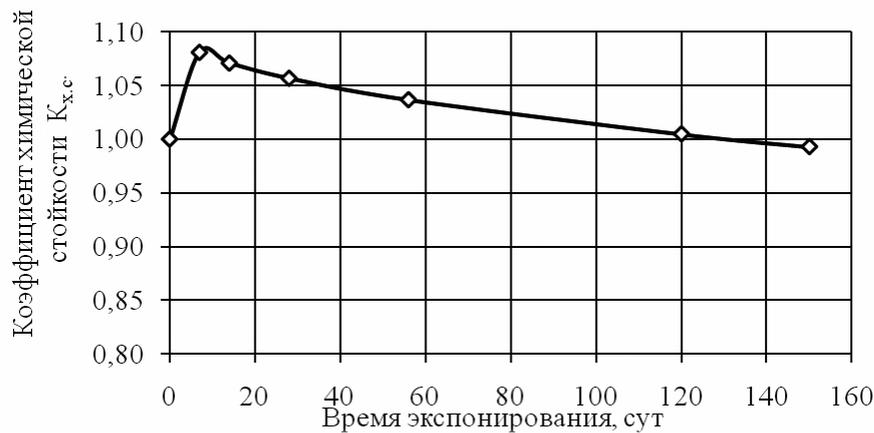


Рис. 12. Изменение коэффициента стойкости в 2 % растворе H_2SO_4 (наполнение ОПФ – 10 % (1))

В результате проведенных исследований установлено:

- Основными показателями химической стойкости цементных бетонов сульфатной коррозии являются ордината переднего фронта коррозии, определяемая по формуле (1), и коэффициент химической стойкости, который наиболее адекватно описывается функциональной зависимостью (2).
- Сжимающие напряжения замедляют процесс переноса агрессивной среды в объем образца, и коэффициент диффузии уменьшается в 2-3 раза.
- Коэффициент диффузии в случае сульфатной коррозии предложено определять склерометрическим методом.

Список литературы

Селяев, В.П. Химическое сопротивление наполненных цементных композитов / В.П. Селяев, В.И. Соломатов, Л.М. Ошкина // Рос. акад. архитектуры и строит. наук. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. – 150 с.

References

Selyaev, V.P. Chemical resistance of the composites filled with cement / V.P. Selyaev, V.I. Solomatov, L.M. Oshkina // Russian Academy of Architecture and Construction Science. – Saransk: Publisher Mordovia State University, 2001. – 150 p.

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

Россия, 430006, г. Саранск,
ул. Большевистская, д. 68
тел.: (8342)47-77-11; факс: (8342)47-77-51

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

Неверов Вячеслав Александрович,
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры физики твердого тела
E-mail: ua4uu@mail.ru

Куприяшкина Людмила Ивановна,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»

Колотушкин Алексей Владимирович,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»

Сидоров Виталий Валерьевич,
соискатель кафедры «Строительные
конструкции»

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

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 Construction
Sciences, Doctor of Sciences, Professor,
Head of the department «Building designs»
E-mail: ntorm80@mail.ru

Neverov Viacheslav Aleksandrovich,
Candidate of Physics and Mathematics
Sciences, Associate Professor
E-mail: ua4uu@mail.ru

Kupriyashkina Lyudmila Ivanovna,
Candidate of Engineering Sciences, Professor
of the department «Building designs»

Kolotushkin Aleksey Vladimirovich,
Postgraduate of the department «Building
designs»

Sidorov Vitaly Valerievich,
Postgraduate of the department «Building
designs»

МИКРОСТРУКТУРА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИАТОМИТОВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

В.П. Селяев, В.А. Неверов, Л.И. Куприяшкина, А.В. Колотушкин, В.В. Сидоров

Представлены результаты исследования возможности создания перспективных теплоизоляционных материалов на основе диатомитов.

Ключевые слова: теплоизоляционный материал, диатомит, структура, вакуумная теплоизоляция, поровое пространство.

MICROSTRUCTURE OF PERSPECTIVE THERMAL INSULATING MATERIALS MADE OF DIATOMITE FROM MIDDLE VOLGA REGION

V.P. Seljaev, V.A. Neverov, L.I. Kupriyashkina, A.V. Kolotushkin, V.V. Sidorov
Possibility of making heat-insulating materials based on diatomite is investigated.

Keywords: heat-insulating material, diatomite, structure, vacuum heat-insulation, pore space.

Современный строительный рынок предлагает достаточно широкий выбор теплоизоляционных материалов для ограждающих конструкций зданий, позволяющих уменьшить потери тепловой энергии. При общемировой тенденции снижения энергопотребления зданиями перспективы улучшения качества теплоизоляции неизбежно будут связываться с использованием вакуумных изоляционных панелей [1]. В качестве основного компонента наполнителя сердцевины вакуумной изоляционной панели (ВИП) применяются высокопористые материалы, представляющие собой полидис-

персные зернистые системы. Физические основы теплопроводности неметаллических зернистых систем рассмотрены в работе Г.Н.Дульнева [2].

Известно, что перенос тепла в пористых зернистых структурах обеспечивается в основном конвекцией и теплопроводностью газа, заполняющего систему (теплопроводность каркаса полидисперсной зернистой матрицы и передача тепла излучением малы). Чем меньше размер пустот дисперсного материала и пор частиц, из которых он состоит, тем меньше теплопроводность всей зернистой системы. С уменьшением давления газа в микропоровом пространстве и нанопорах (размерами ~10 нм) указанный механизм переноса тепла практически исключается уже при давлении ~100 Па. Таким образом, для получения эффективного теплоизоляционного материала для ВИП необходимо использовать тонкодисперсные зернистые системы с наноструктурированным поровым пространством.

При формировании сердцевины ВИП частицы зернистой системы, взаимодействуя между собой, образуют кластеры с поровой структурой второго порядка (поры самих частиц образуют поровую структуру первого порядка), которая зависит от типа укладки частиц. Ее пористость может находиться в пределах 0,26...0,47, в зависимости от способа упаковки частиц (тетраэдрическая, кубическая и др.). Поровая структура третьего уровня, состоящая из крупных пустот, формируется при образовании каркаса из кластеров и частиц. Сеть пустот, пронизывающих каркас зернистой системы, создает поровую структуру четвертого порядка. Такая полиструктурная модель зернистой системы, может быть реализована, если составляющие ее частицы имеют собственную пористую структуру и размеры менее 0,2 мм.

Выпускаемая промышленностью вакуумная изоляционная панель FRONT-VIP компании VACU-ISOTEC KG (www.vacu-isotec.de), имеет наполнитель в виде высокодисперсного диоксида кремния (аморфная кремниевая кислота), между шарообразными нанопористыми первичными частицами которого реализуются только точечные переходы, что значительно снижает теплопроводность каркаса зернистой системы, а удаление воздуха из ВИП блокирует конвективную составляющую теплопроводности. В качестве наполнителя вакуумной изоляционной панели возможно применение и других тонкодисперсных зернистых систем с близкими к аморфному диоксиду кремния параметрами по крупности и пористости – различного вида микрокремнеземы, аэросил, природные и модифицированные диатомиты.

Диатомиты представляют собой легкие пористые осадочные породы, образованные в основном кремнеземистыми обломками панцирей диатомовых водорослей (диатомей) и состоящие главным образом из гидратов кремнезема различной степени – опалов вида $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ [3]. Размер створок (панцирей) диатомей обычно колеблется от 0,03 до 0,15 мм, а содержание SiO_2 – от 62 до 97 %. В качестве постоянной примеси присутствуют глинистые минералы (~5...10 %), которые характеризуются тонкодисперсностью с размером частиц, в основном, меньшим 0,01 мм, сорбционными свойствами, способностью к удержанию воды, пластичностью и тугоплавкостью. Низкая цена природных диатомитов позволяет рассматривать их как перспективные пористые материалы для производства наполнителей сердцевины ВИП различных ограждающих конструкций.

В данной статье представлены результаты исследований структурных характеристик природных диатомитов месторождений Среднего Поволжья, предпринятых с целью выбора подходящего зернистого пористого материала для производства вакуумных изоляционных панелей с параметрами, не уступающими зарубежным образцам. В качестве объектов исследований выбраны диатомиты Инзенского месторождения Ульяновской области, Никольского месторождения Пензенской области и Атемарского месторождения Республики Мордовия. Проведен сравнительный анализ полученных структурных характеристик природных диатомитов с аналогичными параметрами тонкодисперсного порошка-наполнителя промышленной ВИП FRONT-VIP компании VACU-ISOTEC KG.

Элементный состав диатомитов и порошка-наполнителя FRONT-VIP был определен методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием спектрометра ARL Perform`X 4200. Результаты анализа (в пересчете на оксиды), приведенные

в табл. 1, дают возможность сделать вывод о том, что диатомит Атемарского месторождения содержит несколько большее количество диоксида кремния, чем другие диатомиты и примерно на 2 % меньше оксида алюминия, что свидетельствует о незначительном содержании в нем глинистых минералов. Минимальное содержания Fe_2O_3 – 2,67 % зарегистрировано в диатомите Инзенского месторождения, в то время как в диатомите Никольского месторождения его наблюдается 3,87 %, а в диатомите Атемарского месторождения – 3,41 %. В целом же природные диатомиты всех трех месторождений сходны по своему химическому составу, а достаточно высокое содержание диоксида кремния в них позволяет рассматривать эти материалы как полидисперсные зернистые системы, пригодные для промышленного производства теплоизоляционных материалов.

Т а б л и ц а 1

Состав диатомитов и порошка наполнителя FRONT-VIP

Соединение	Инзенский	Никольский	Атемарский	FRONT-VIP
SiO_2	86,26	84,11	87,23	99,77
Al_2O_3	7,09	7,16	5,15	-
Fe_2O_3	2,67	3,87	3,41	0,09
K_2O	1,53	1,77	1,21	0,02
MgO	1,21	0,98	0,73	-
CaO	0,50	1,26	1,75	0,02
TiO_2	0,42	0,52	0,32	0,01
Na_2O	0,20	-	-	-
SO_3	0,03	0,17	0,03	-
P_2O_5	0,03	0,03	0,06	-
V_2O_5	-	-	-	0,03
Cl	-	-	-	0,02
NiO	-	-	-	0,01

Для детального изучения гранулометрического состава исследуемых дисперсных систем применялся анализатор размеров частиц Shimadzu SALD-3101, который предназначен для измерения размеров частиц в диапазоне 50 нм ... 3000 мкм методом лазерного дифракционного анализа с ультразвуковым диспергированием. Гистограммы гранулометрического анализа представлены на рис.1, а значения интервалов крупности частиц природных диатомитов и порошка FRONT-VIP – в табл. 2. Анализ этих данных показывает, что все исследуемые порошки представляют собой полидисперсные системы, причем диатомит Никольского и Атемарского месторождений, а также дисперсный порошок наполнителя FRONT-VIP содержат в своем составе частицы, крупность которых лежит в двух интервалах – нано- и микрометровых масштабов. Этого нельзя сказать о диатомите Инзенского месторождения, значения размеров частиц у которого образуют непрерывный ряд, а относительное число частиц размером < 1 мкм составляет ~ 2 %. Для диатомита Никольского месторождения это число имеет значение около 13 %, диатомита Атемарского месторождения – 13 %, а для порошка FRONT-VIP – 20,5 %. Следует отметить, что размеры частиц диатомитов всех месторождений имеют максимальное значение ≥ 100 мкм, тогда как значение крупности тонкодисперсного наполнителя промышленной вакуумной изоляционной панели составляет ~60 мкм, что, по-видимому, существенно понижает его эффективную теплопроводность из-за уменьшения площади контакта и достижения оптимального координационного числа частиц, а также пористости всей полиструктурной системы.

Особенности поровой структуры и морфологии поверхностей составляющих диатомиты и порошок FRONT-VIP частиц микрометровых размеров исследовались на многофункциональном электронном микроскопе Quanta 200 i3D. На рис. 2 представлена микрофотография фрагмента панциря створок диатомовых водорослей, обнаруженного в диатомите Инзенского месторождения. Аналогичные образования характерны и для других диатомитов, причем кремнистые остатки могут иметь весьма разнообразную форму, а размеры поровых каналов лежат в пределах 0,4...2,6 мкм. Порошок наполнителя FRONT-VIP (рис. 3) состоит из агломерированных частиц дисперсного

микрокремнезема, между и на поверхности которых наблюдаются поры в виде протяженных извилистых углублений складчатой структуры микрометровых размеров. Кроме того, на поверхности частиц имеется большое количество открытых пор нанометрового и субмикрометрового масштаба.

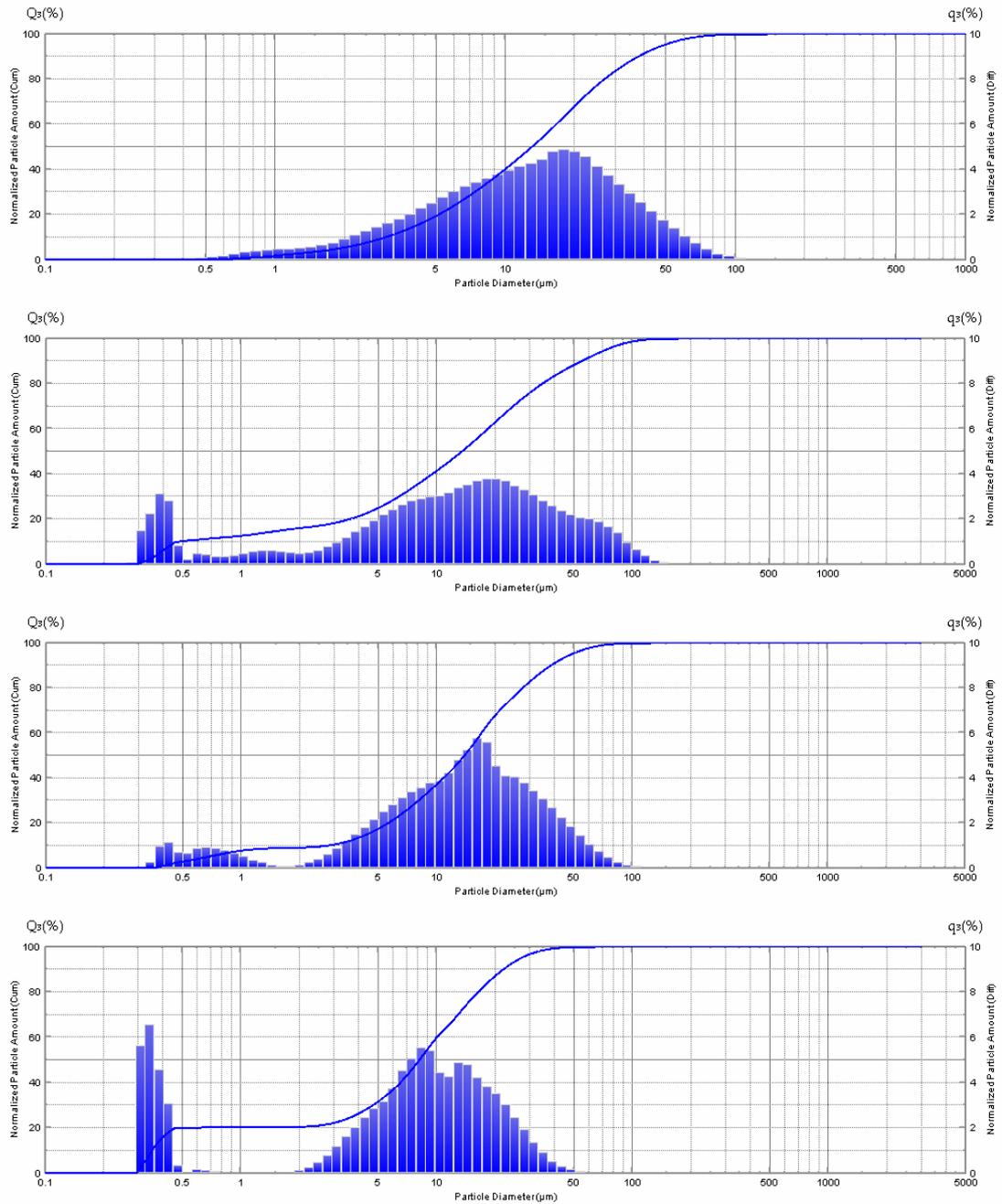


Рис. 1. Гистограммы гранулометрического анализа: сверху вниз – диатомиты Инзенский, Никольский, Атемарский и порошок FRONT-VIP

Т а б л и ц а 2

Гранулометрический состав дисперсных систем

Диатомит, порошок	Крупность, нм	Крупность, мкм
Инзенский		0,35 – 125
Никольский	290 – 560	0,60 – 170
Атемарский	360 – 1500	2 – 100
FRONT-VIP	290 – 1000	2 – 64

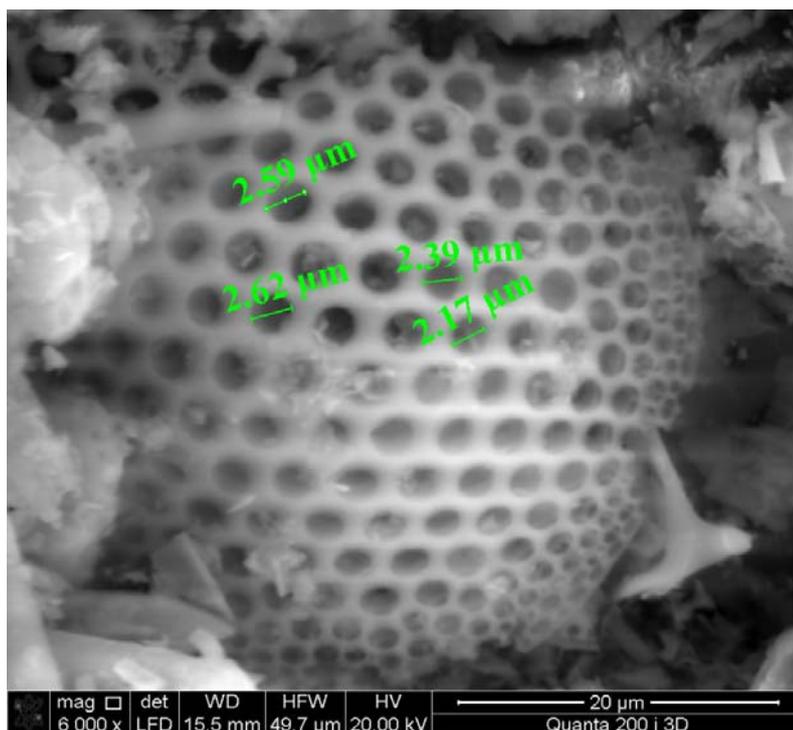


Рис. 2. Микрофотография фрагмента панциря диатомовой водоросли

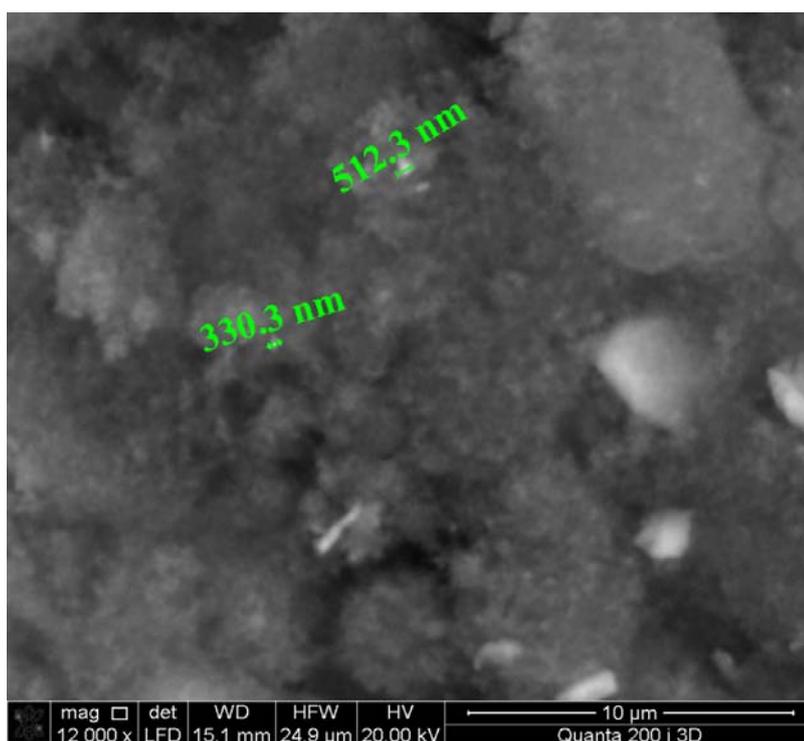


Рис. 3. Микрофотография частиц порошка FRONT-VIP

Изучение сорбционных свойств поверхности частиц, входящих в состав природных диатомитов и порошка-наполнителя промышленной вакуумной изоляционной панели, проводилось методом инфракрасной спектроскопии, который дает возможность регистрировать спектральные линии поглощения, возникающие в результате колебательного и вращательного движения молекул. ИК-спектры поглощения всех четырех дисперсных порошков получены с применением инфракрасного Фурье-спектрометра «Инфралюм ФТ-02» в диапазоне волновых чисел $450 \dots 4000 \text{ см}^{-1}$. Все

спектры природных диатомитов и порошка FRONT-VIP имеют характерный для диоксида кремния вид. Так, в диапазоне волновых чисел $450 \dots 1200 \text{ см}^{-1}$ наблюдаются три максимума, соответствующие колебаниям Si–O–Si-связей в тетраэдре SiO_4 , – два небольших максимума в районе 480 и 800 см^{-1} и один значительный в районе 1100 см^{-1} . В области волновых чисел $3300\text{--}3600 \text{ см}^{-1}$ присутствует широкая полоса поглощения, а в области $1630\text{--}1640 \text{ см}^{-1}$ – более узкая полоса, которые соответствуют валентным и деформационным колебаниям адсорбированных молекул воды. При этом интенсивность широкой полосы поглощения ($3300\text{--}3600 \text{ см}^{-1}$) в спектре порошка FRONT-VIP по сравнению с интенсивностью аналогичных полос в спектрах диатомитов, значительно меньше, что может служить свидетельством низкого содержания адсорбированных молекул воды в порошке-наполнителе промышленной ВИП. Это выглядит вполне естественным, так как исследуемые диатомиты имеют природное происхождение и не подвергались термическим воздействиям, которые могли бы привести к уменьшению их влажности.

Проведенные комплексные исследования структурных характеристик диатомитов некоторых месторождений Среднего Поволжья позволяют сделать следующие выводы:

- диатомиты Инзенского, Никольского и Атемарского месторождений имеют сходный элементный состав. Максимальное содержание диоксида кремния зарегистрировано в Атемарском диатомите;
- из всех изученных диатомитов минимальное количество глинистых минералов содержится в диатомите Атемарского месторождения;
- по гранулометрическому составу диатомит Атемарского месторождения наиболее близок к составу промышленно выпускаемой вакуумной изоляционной панели;
- установлено, что размеры поровых каналов диатомовых остатков имеют величину $\sim 0,4 \dots 2,6 \text{ мкм}$;
- применение метода инфракрасной спектроскопии позволило установить, что в поровой системе частиц природных диатомитов адсорбируются молекулы воды, которые могут служить причиной их относительно высокой теплопроводности;
- для того чтобы использовать природные диатомиты в качестве основной составляющей наполнителя сердцевины вакуумной изоляционной панели необходима их модификация: прокаливание при температуре, обеспечивающей дегидратацию порового пространства микро- и наноуровня, а также выгорание органических остатков осадочного материала; измельчение и сепарация с целью удаления глинистых примесей;
- наиболее подходящим сырьем для производства наполнителя вакуумных изоляционных панелей следует считать диатомит Атемарского месторождения Республики Мордовия.

Список литературы

1. Данилевский, Л.Н. Вакуумная теплоизоляция и перспективы ее использования в строительстве / Л.Н. Данилевский // Архитектура и строительство. – 2006. – №5. – С.114–117.
2. Дульнев, Г.Н. Теплопроводность смесей и композиционных материалов: справочная книга / Г.Н. Дульнев, Ю.П. Заричняк. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.
3. Дистанов У.Г. Кремнистые породы СССР / У.Г. Дистанов. – Казань: Татарское книжное издательство, 1976. – 412 с.

References

1. Danilevsky, L.N. Vacuum insulation and the prospects for its use in construction / L.N. Danilevsky // Architecture and Construction. – 2006. – № 5. – P.114–117.
2. Dulnev, G.N. Thermal conductivity of blends and composites: handbook / G.N. Dulnev, Y.P. Zarichnyak. – L.: Energy, 1974. – 264 p.
3. Distanov H.S. Siliceous rocks of the USSR / H.S. Distanov. – Kazan Tatar Publishing House, 1976. – 412 p.

Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева

Россия, 430000, г. Саранск,
ул. Советская, 24,
тел./факс: (8342)48-25-64

Леснов Виталий Викторович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные материалы и
технологии»
E-mail: VVL377MGU@rambler.ru

Ерофеев Владимир Трофимович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Строительные материалы и
технологии», декан архитектурно-
строительного факультета, чл.-корр.
РААСН

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

Russia, 430005, Saransk, 24, Soviet St.,
tel./fax: (8342)48-25-64

Lesnov Vitaliy Victorovich,
Candidate of Sciences, Associate professor of
the department «Building materials and
technology»
E-mail: VVL377MGU@rambler.ru

Erofeev Vladimir Trofimovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the department «Building materials
and technology», Dean of Faculty of
architecture and civil engineering, Member of
RAACS

СВОЙСТВА МАТРИЧНЫХ И КЛЕЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ КАРКАСНЫХ БЕТОНОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИАКРИЛНИТРИЛОВОЙ ФИБРОЙ

В.В. Леснов, В.Т. Ерофеев

Приведены результаты исследования свойств матричных и клеевых композиций, армированных полиакрилонитриловой фиброй. Отмечено повышение прочности при изгибе и сжатии цементных композитов, пригодных для создания каркасных дисперсно-армированных бетонов, получены математические модели физико-механических свойств.

Ключевые слова: полиакрилонитриловая фибра, цементные композиты, каркасные бетоны, математические модели физико-механических свойств.

PROPERTIES OF MATRIX AND GLUE COMPOSITIONS OF CARCASS CONCRETE, MODIFIED BY POLYACRYLONITRILE FIBER

V.V. Lesnov, V.T. Erofeev

The results of investigation of matrix and glue compositions, reinforced by polyacrylonitrile fiber are given. An increase of the bending and compression strength of cement composites, suitable for frame dispersed-reinforced concrete is registered, mathematical models of physical and mechanical properties are obtained.

Keywords: polyacrylonitrile fiber, cement composites, carcass concretes, mathematical models of physical-mechanical properties.

Одной из эффективных технологий получения бетонов, обеспечивающих улучшение показателей их упруго-прочностных свойств, является каркасная. Технология изготовления бетонов каркасной структуры заключается в изготовлении на предварительном этапе пористого каркаса из зерен крупного заполнителя и последующей пропиткой его матричным составом [1]. Как правило, каркас получают методом соединения зерен крупного заполнителя между собой клеевыми композициями. Существуют также и другие способы получения каркаса, например, такие, как спекание зерен при повышенных температурах, фиксация уложенных в форму заполнителей виброуплотнением или трамбованием. В каркасных композитах клеевые композиции должны иметь хорошую адгезию к заполнителю каркаса, создавать клеевые прослойки требуемой толщины, а матричные композиции должны иметь необходимую подвиж-

ность, нерасслаиваемость и адгезионную связь в контакте с клеевой композицией. В этой связи получение клеевых и матричных составов с требуемыми физико-механическими характеристиками является важной задачей. Введение в их состав дисперсной арматуры является одним из действенных способов улучшения свойств композиционных материалов.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния количества и длины полиакрилонитриловой дисперсной арматуры (ДА) на реологические, структурные и прочностные свойства клеевых и матричных цементных композиций, применяемых для получения каркасных композитов.

В качестве вяжущего использовали портландцемент ПЦ500Д0 (ОАО «Мордовцемент»), дисперсной арматуры – полиакрилонитриловую фибру марки «Rіcem» длиной 8 и 12 мм. Составы изготавливались с помощью смесителя при постоянном водоцементном отношении (В/Ц), равном 0,4, время перемешивания составляло 2 мин. Исследования проведены с применением математических методов планирования эксперимента. По результатам проведенных экспериментов были получены уравнения регрессии изменения физико-механических свойств клеевых и матричных композиций. При варьировании факторов X_1 и X_2 в качестве фактора X_1 была принята длина ДА на относительных уровнях -1 , 0 и $+1$ (фактические уровни: 8, 8/12 и 12 мм) и X_2 – относительное количество ДА от вяжущего по сухому веществу на уровнях -1 , $-0,6$, $-0,2$, $0,2$, $0,6$ и $+1$ (фактические уровни: 0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 и 2,5 %). Уровень 8/12 говорит о том, что в композит вводили смесь ДА из волокон длиной 8 и 12 мм в соотношении по массе 50 % на 50 %. Композиции твердели 1 сутки в формах при нормальных температурно-влажностных условиях, а затем их подвергали тепловлажностной обработке при температуре 95 °С в течение 8 ч вне форм. Определение физико-механических свойств затвердевших материалов проводили на образцах-призмах размером 2×2×7 см. Подвижность свежеприготовленных цементных композиций контролировали по расплыву на вискозиметре типа Суттарда.

После проведения статистической обработки результатов эксперимента были получены адекватные математические модели физико-механических свойств цементных композитов, модифицированных ДА «Rіcem»:

$$L = 0,947 - 0,109X_1 - 0,151X_2 - 0,089X_1X_2 - 0,117X_2^2,$$

$$\rho = 0,969 - 0,029X_1 - 0,019X_2 - 0,016X_1X_2,$$

$$R_i = 1,063 + 0,078X_1 + 0,064X_2 + 0,079X_1X_2,$$

$$R_b = 1,028 - 0,088X_1 - 0,080X_2 - 0,088X_1X_2 - 0,106X_2^2,$$

$$E_0 = 0,880 - 0,097X_1 - 0,109X_2 - 0,083X_1X_2,$$

где L – подвижность цементного теста; ρ – средняя плотность; R_i и R_b – предел прочности при сжатии и изгибе; E_0 – начальный модуль упругости цементных композиций.

Составы без полиакрилонитриловой фибры «Rіcem», принятые за контрольные, имели следующие реологические, структурные и упруго-прочностные показатели: подвижность цементного теста – 142 мм, средняя плотность – 1825 кг/м³, пределы прочности при сжатии и изгибе – 42,6 МПа и 6,4 МПа, начальный модуль упругости при сжатии – 9220 МПа.

Графики изменения физико-механических показателей, отн. ед., клеевых и матричных цементных композитов, армированных ДА «Rіcem», построенные по математическим моделям, приведенным выше, показаны на рис. 1–5.

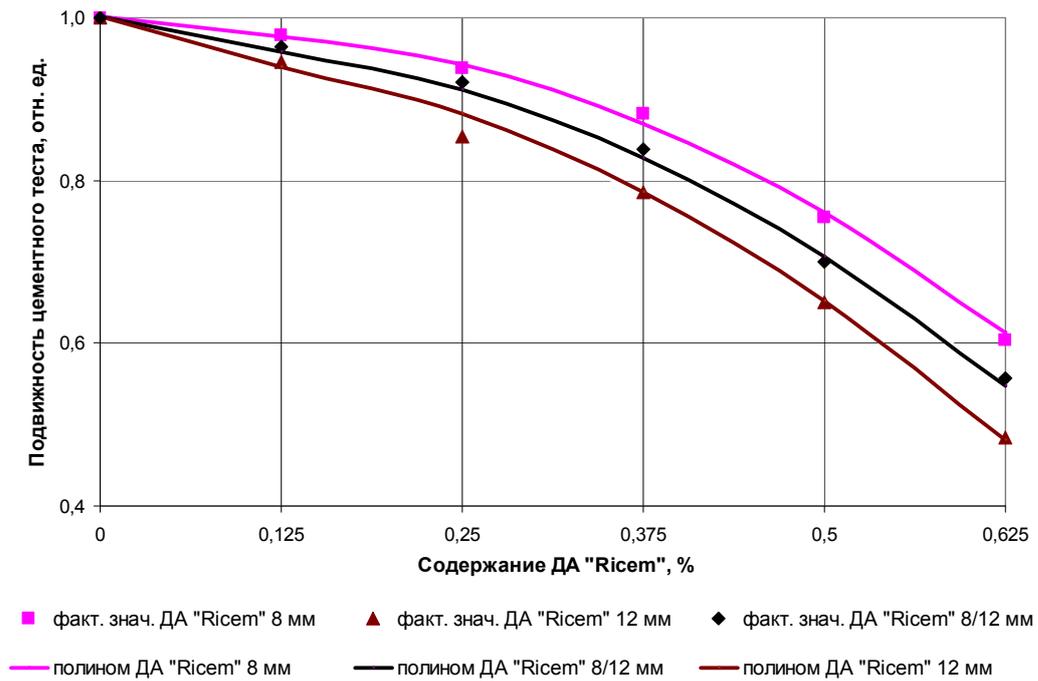


Рис. 1. Подвижность дисперсно-армированных цементных композитов

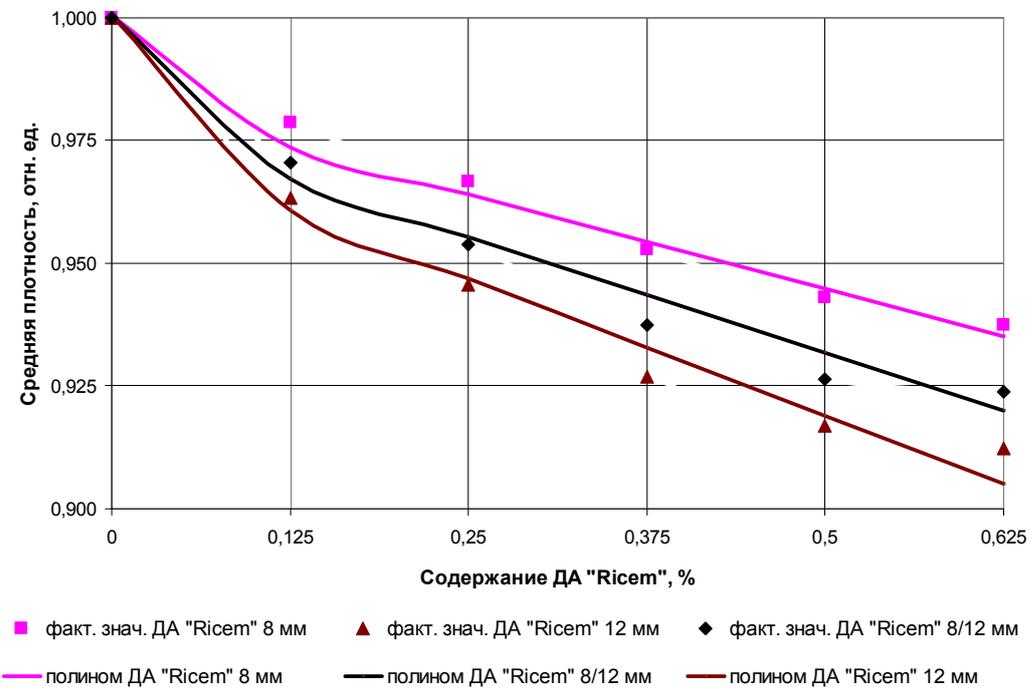


Рис. 2. Средняя плотность дисперсно-армированных цементных композитов

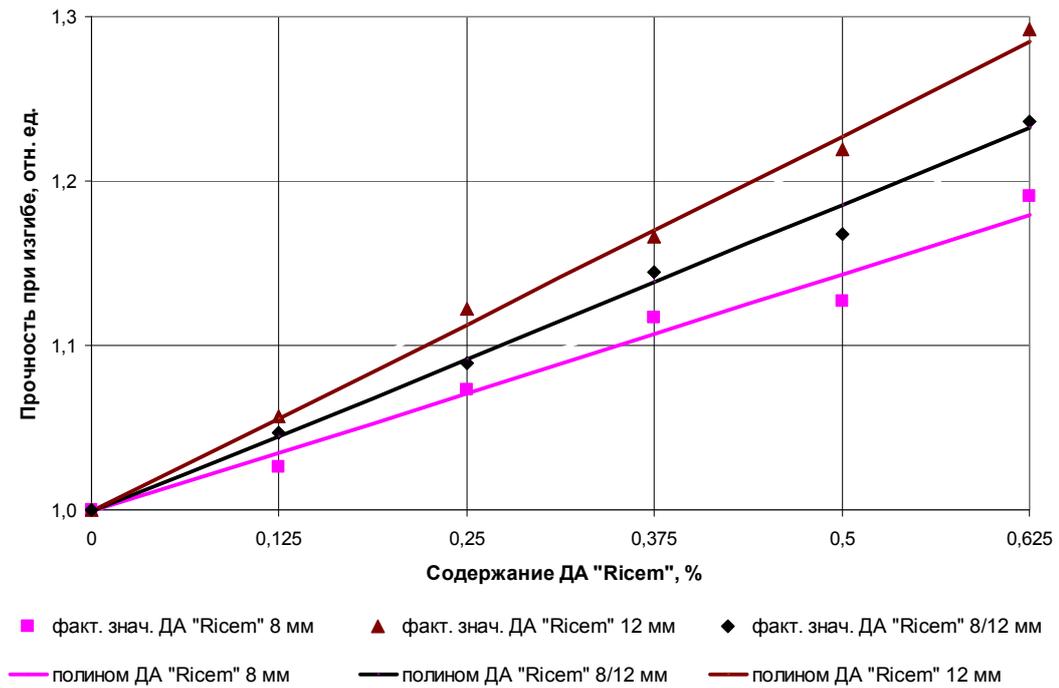


Рис. 3. Предел прочности при изгибе дисперсно-армированных цементных композитов

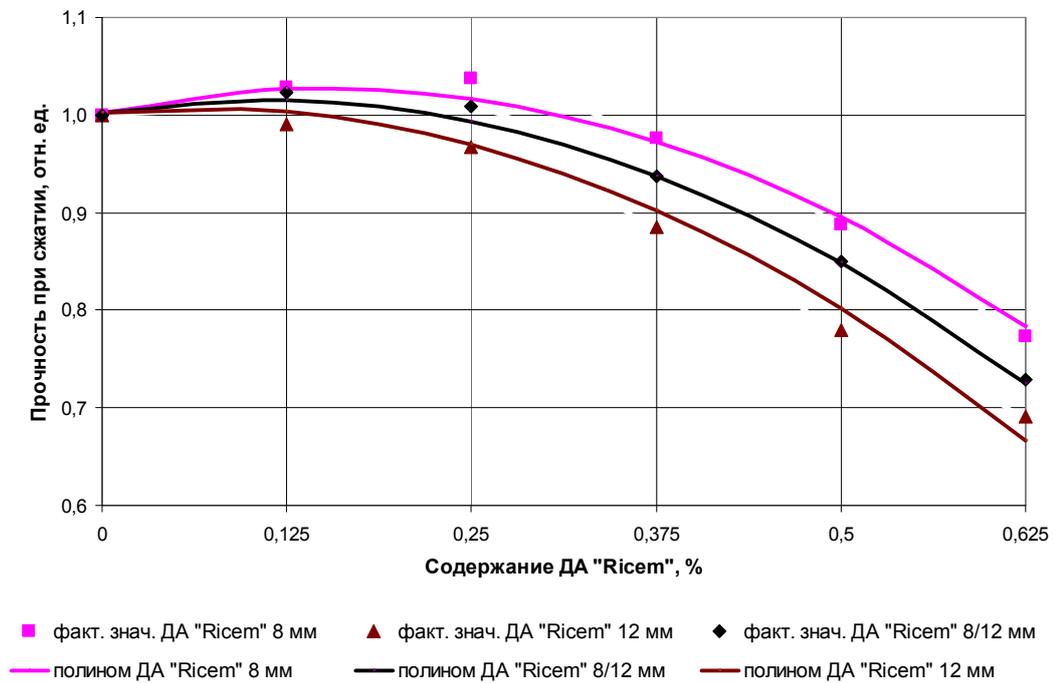


Рис. 4. Предел прочности при сжатии дисперсно-армированных цементных композитов

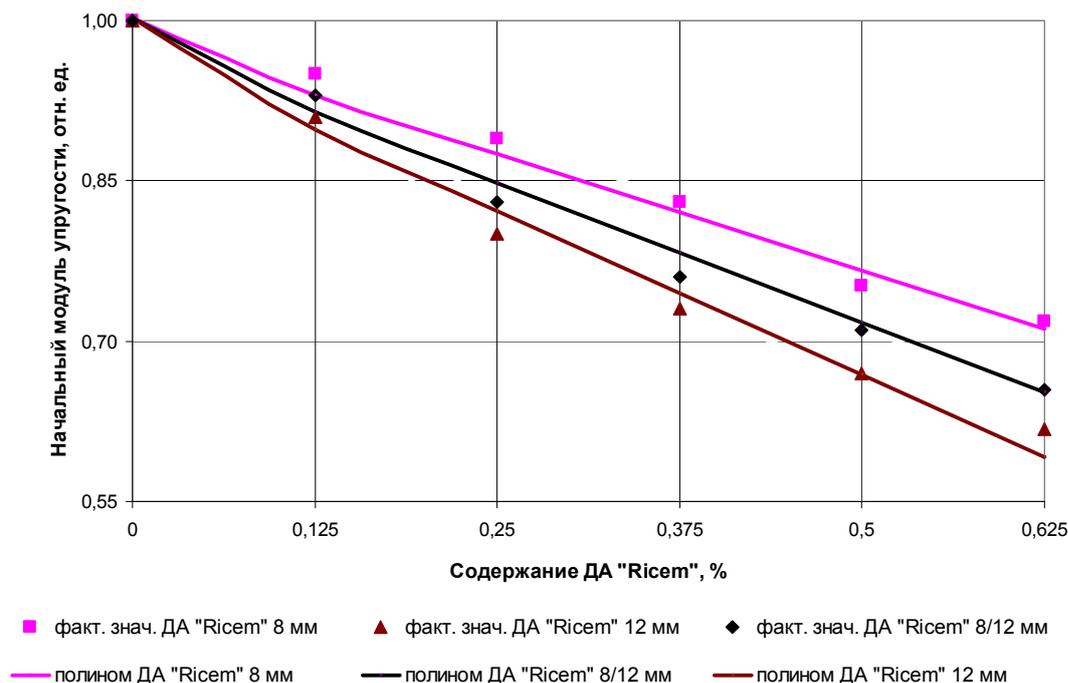


Рис. 5. Начальный модуль упругости дисперсно-армированных цементных композитов

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- полученные цементные композиции при введении ДА «Ricem» различной длины в количестве 0,125...0,625 % по массе имеют подвижность, среднюю плотность, прочность при изгибе и сжатии, начальный модуль упругости, равные соответственно: 138,9...68,6 мм, 1787...1664 кг/м³, 6,5...7,9 МПа и 43,8...28,4 МПа, 8760...5690 МПа;
- наибольшее влияние на физико-механические свойства клеевых и матричных композитов оказывает количественное содержание в их составе полиакрилонитриловой дисперсной арматуры (см. рис. 1–5);
- применение ДА «Ricem» увеличивает прочность при изгибе цементных композиций при максимальном ее содержании на 18–23 % (см. рис. 3), а прочность при сжатии – до 3 %, при введении ее в количестве 0,125...0,25 % (см. рис. 4);
- введение дисперсной полиакрилонитриловой арматуры при постоянном В/Ц приводит к снижению подвижности цементного теста (см. рис. 1) средней плотности (см. рис. 2) и начального модуля упругости (см. рис. 5), т.е. позволяет получать облегченные цементные композиты с повышенной деформативностью при необходимой удобоукладываемости;
- армирование цементных композиций полиакрилонитриловой фиброй «Ricem» различной длины позволяет получать эффективные матричные и клеевые составы, которые пригодны для изготовления дисперсно-армированных бетонов каркасной структуры с широким диапазоном требуемых физико-механических показателей.

Список литературы

Каркасные строительные композиты: в 2 ч. Ч. 1. Структурообразование. Свойства. Технология / В.Т. Ерофеев, Н.И. Мищенко, В. П. Селяев, В. И. Соломатов; под ред. акад. РААСН В. И. Соломатова. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1995. – 200 с.

References

Carcass construction composites: in 2 hours. N. 1. Structure formation. Properties. Technology / V.T. Erofeev, N.I. Mishchenko, V.P. Seliaev, V.I. Solomatov; edited By acad. RAASN V.I. Solomatov. – Saransk: Publ. of the Mordov. Un-ty, 1995. – 200 p.

*Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева*

Россия, 430000, г. Саранск,
ул. Советская, 24,
тел./факс: (8342)48-25-64

Леснов Виталий Викторович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные материалы
и технологии»
E-mail: VVL377MGU@rambler.ru

Ерофеев Владимир Трофимович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Строительные материалы
и технологии», декан архитектурно-
строительного факультета, чл.-корр.
РААСН

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

Russia, 430005, Saransk, 24, Soviet St.,
tel./fax: (8342)48-25-64

Lesnov Vitaliy Victorovich,
Candidate of Sciences, Associate professor of
the department «Building materials and
technology»
E-mail: VVL377MGU@rambler.ru

Erofeev Vladimir Trofimovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the department «Building materials
and technology», Dean of Faculty of
architecture and civil engineering, Member of
RAACS

ВЛИЯНИЕ ВИДА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСНОЙ АРМАТУРЫ НА ХАРАКТЕР РАБОТЫ В ЦЕМЕНТНОЙ МАТРИЦЕ КАРКАСНОГО БЕТОНА

В.В. Леснов, В.Т. Ерофеев

Приведены результаты испытаний различных видов дисперсной металлической арматуры. Исследован характер работы металлической фибры в цементной матрице каркасного бетона, выявлены ее наиболее эффективные виды.

Ключевые слова: каркасный бетон, цементная матрица, дисперсная металлическая арматура (ДМА), анкерующая способность.

THE INFLUENCE OF THE METAL FIBRE TYPE ON THE NATURE OF CARCASS CONCRETE WORK IN THE CEMENT MATRIX

V.V. Lesnov, V.T. Erofeev

The results of testing various types of steel fibres are given. The pattern of steel fibre work in cement matrix carcass concrete has been researched, its effective bends have been identified.

Keywords: carcass concrete, cement matrix, metal fibre (DMA), anchor properties.

Дисперсно-армированные композиционные материалы получили широкое распространение при изготовлении конструкций, к которым предъявляются повышенные требования по показателям динамической прочности [1]. Несмотря на все более широкое распространение различных видов металлической фибры на строительном рынке России, в научной литературе практически отсутствуют данные о наиболее эффективных ее видах и характере работы в бетоне, поэтому изучение этих вопросов является актуальной задачей.

В данной работе исследовано влияние различных видов ДМА на характер работы каркасных бетонов. Дисперсно-армированные бетоны каркасной структуры получают по следующей технологической схеме: на первом этапе изготавливают крупнопористый каркас из смеси зерен крупного заполнителя и дисперсной арматуры, а на втором – пропитку пор каркаса матричным составом. Армированный каркас может быть получен при помощи соединения между собой зерен крупного заполнителя и фибры клеевыми композициями, а также путем фиксации компонентов в форме уплотнением каркасной армированной смеси вибрированием или трамбованием [2, 3]. При этом к матричным композициям из условий обеспечения качественной пропитки

каркаса предъявляются требования по необходимой подвижности. Важное значение имеет величина адгезионного сцепления между матрицей каркасного бетона и дисперсной арматурой.

В настоящее время на строительном рынке широко представлена металлическая фибра (дисперсная металлическая арматура – ДМА) различных видов и способов изготовления. Для получения ДМА могут использоваться металлы (алюминий, медь, молибден и т.д.) и их сплавы (сталь, чугун, латунь и т.д.). В строительстве в основном применяется стальная дисперсная арматура. ДМА изготавливают следующими способами: резанием из проволоки, рубкой тонких металлических листов, фрезерованием металлических заготовок (слябов) и вытяжкой (экструзией) из расплавов [1]. Наибольшее распространение получили первые три метода изготовления фибры.

При изготовлении ДМА резаной из тонкой проволоки (рис. 1, а, б, в), как правило, используется стальная низкоуглеродистая проволока по ГОСТ 3282–74. Наиболее широко применяется фибра диаметром 0,3...1,2 мм и длиной 30...80 мм с временным сопротивлением растяжению в пределах 600...1300 МПа. Снижение стоимости ДМА может достигаться производством фибры из некондиционных и выработавших свой технический ресурс канатов.

Рубленая фибра (рис. 1, г) производится рубкой тонкого стального листа толщиной 0,5...1,5 мм и представляет собой волокно длиной 20...60 мм, торцы которого повернуты относительно друг друга на произвольный угол, а продольная ось искривлена по пологой винтовой линии. Для увеличения сцепления с бетоном на продольных гранях фибры может быть нанесен периодический профиль. Временное сопротивление растяжению рубленой ДМА составляет 340...850 МПа, она изготавливается из листовой холоднокатаной стали марок Ст08кп, Ст10, Ст20, Ст30 и Ст40.

Фрезерованная фибра (рис. 1, д) производится методом специального фрезерования металлических слябов. Геометрические параметры фрезы обеспечивают получение фибры серповидного сечения, две поверхности которого шероховатые и одна гладкая, при этом на концах фибры образуются анкерные отгибы. Длина фибры составляет 25...32 мм, она имеет трапециевидное сечение шириной до 4 мм и толщиной 0,2...0,6 мм. Применяется сталь марок Ст3пс, Ст3сп и др. Временное сопротивление растяжению ДМА в зависимости от марки металла и составляет 600...900 МПа. Благодаря высокой температуре процесса фибра имеет окисный слой, препятствующий образованию и развитию коррозии.

Основные показатели ДМА: относительная длина – l/d (l – длина фибры, d – ее диаметр) и дисперсность – количество фибр на 1 кг массы. Как показывает практика, для более полного использования прочности ДМА в бетоне, фибра из гладкой проволоки без анкеров должна иметь относительную длину не менее $l/d = 100$, но при этих параметрах резко ухудшается удобоукладываемость бетонной смеси и происходит комкование фибры. Для уменьшения комкования при транспортировке, подаче и перемешивании в смесителе фибра может изготавливаться в виде блок-пластин, состоящих из 10 фибр, склеенных водорастворимым клеем (фибра «Драмикс» фирмы «Bekaert»). Анкерующую способность фибры в бетоне увеличивают следующими мероприятиями: профилированием, травлением поверхности, нанесением специальных покрытий, устройством анкеров на концах и т.п., что позволяет снизить l/d до 45...65. Для повышения коррозионной стойкости и долговечности на поверхность ДМА могут наносить защитный слой (например, латунирование или оцинковывание стали), а для изготовления теплостойких конструкций фибра выполняется из нержавеющей стали. Коэффициенты вариации временного сопротивления растяжению стальной фибры зависят от технологии изготовления и составляют для фибры из проволоки – 4...8 %, рубленой из листа – 12...18 %, фрезерованной из сляба – 20...24 %.

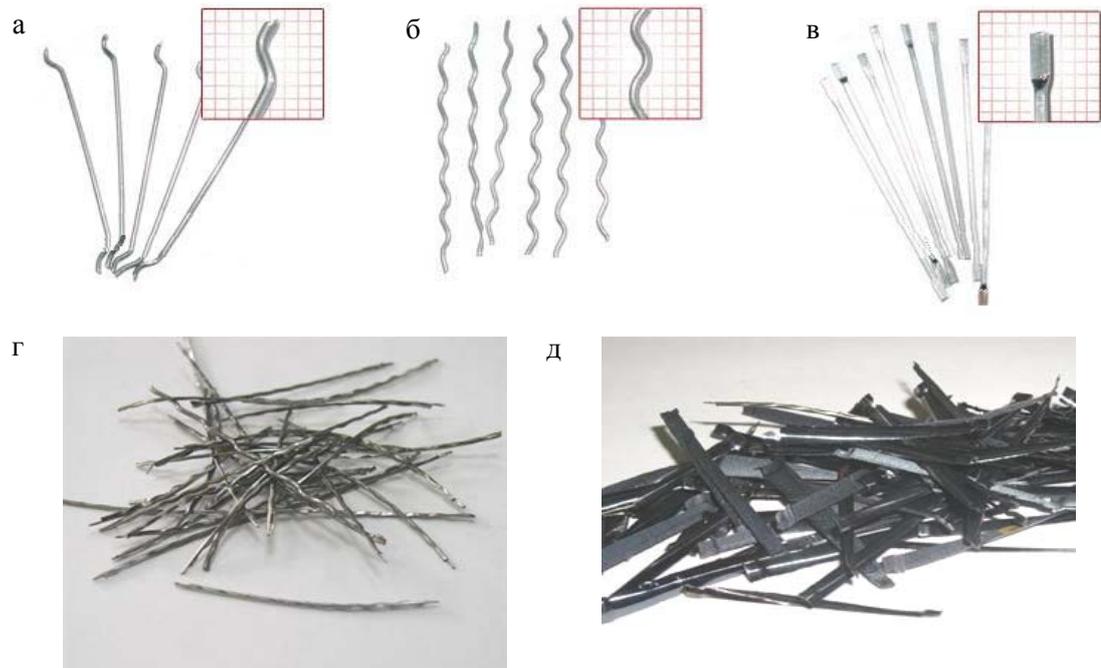


Рис. 1. Виды дисперсной металлической арматуры:
 а, б, в – резанная из проволоки анкерная типа «Драмикс», «Волна», «Весло»;
 г – рубленая из тонкого стального листа; д – фрезерованная из сляба

При выполнении исследований в качестве ДМА использовали проволочную гладкую без анкеров и анкерную фибру типа «Драмикс 50/1», «Весло 50/1», «Волна 50/1» длиной 50 мм и диаметром 1 мм, а также рубленую из тонкого стального листа «РТСЛ 40/1,1» длиной 40 мм и приведенным диаметром 1,1 мм. Показатели предела прочности при разрыве R_{fn} и коэффициента вариации K_v , применяемой в исследованиях фибры, приведены в табл. 1. Для приготовления растворяемых композиций использовали портландцемент марки ПЦ400Д20 (ОАО «Мордовцемент») и суперпластификатор марки Sika Viskocreat 5/600-5/800 в количестве 1,0 % от массы вяжущего по сухому веществу. Суперпластификатор предварительно растворяли в воде затворения, водоцементное отношение было принято равным 0,4 и 0,5. Время перемешивания матричной композиции составляло 2 мин. Образцы уплотняли на встряхивающем столике 30 ударами при частоте 1 уд/с. Часть образцов была подвержена в течение 2 мин вакуумированию при разрежении воздуха 0,08 МПа в вакуумной камере. После расплубливания образцы твердели в воде в течение 35 сут или подвергались тепловлажностной обработке (ТВО) в пропарочной камере при 95 °С в течение 8 ч с естественным остыванием. Испытание дисперсной арматуры на выдергивание проводили на образцах-призмах размером 20×20×35 мм (рис. 2, а, б, в, г). Касательные напряжения по поверхности τ_{cf} и нормальные напряжения по поперечному сечению σ_f фибры определяли по формулам (1) и (2):

$$\tau_{cf} = \frac{P_f}{A_{bf}}, \quad (1)$$

$$\sigma_f = \frac{P_f}{A_f}, \quad (2)$$

где τ_{cf} и σ_f – касательные напряжения по поверхности и нормальные напряжения по поперечному сечению фибры; P_f – сила выдергивания; A_{bf} и A_f – соответственно площадь боковой поверхности фибры в матрице и ее площадь поперечного сечения.

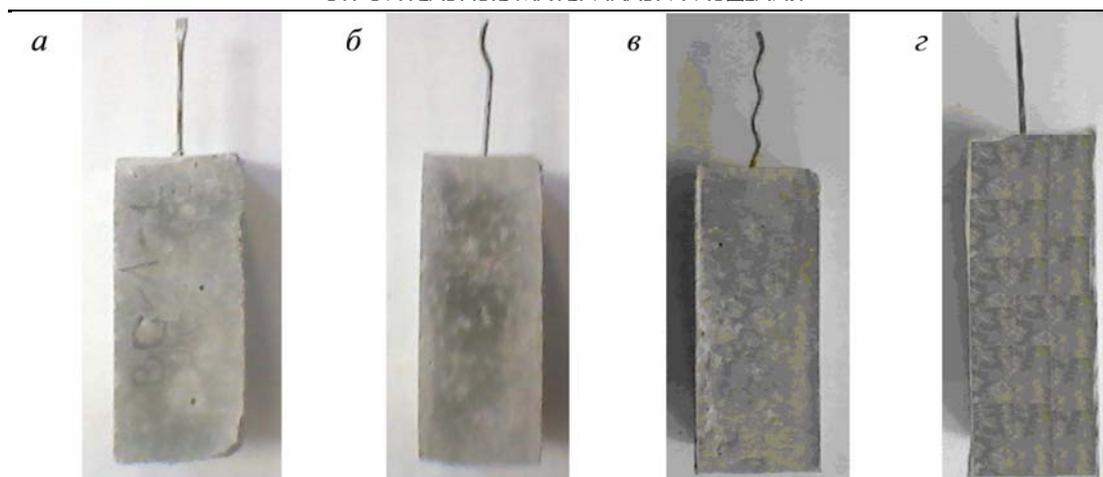


Рис. 2. Образцы-призмы матричного состава с ДМА различного типа:
а – «Весло 50/1»; б – «Драмикс 50/1»; в – «Волна 50/1»; г – «РТСЛ 40/1,1»

Т а б л и ц а 1

Результаты испытаний

Вид дисперсной металлической арматуры	Предел прочности при разрыве R_m , МПа	Коэффициент вариации K_v , %
«Весло 50/1»	1100,6	0,95
«Драмикс 50/1»	1053,1	3,04
«Волна 50/1»	983,4	0,74
«РТСЛ 40/1,1»	351,6	9,88

Результаты испытаний на выдергивание из цементной матрицы каркасного бетона различных видов дисперсной металлической арматуры приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Результаты испытаний

Вид ДМА	В/Ц	Условия твердения	Характер разрушения	τ_{cf} , МПа	σ_f , МПа	Примечание
«Весло 50/1»	0,4	вода	обрыв	9,94	1039,1	
«Драмикс 50/1»	0,4	вода	выдергивание	8,77	924,8	
«Волна 50/1»	0,4	вода	обрыв	9,74	989,4	
«РТСЛ 40/1,1»	0,4	вода	обрыв	3,63	282,8	
«Драмикс 50/1»	0,5	ТВО	выдергивание	7,69	813,2	Образцы вакуумировали
«Драмикс 50/1»	0,5	ТВО	выдергивание	7,54	777,1	
«Гладкая 50/1»*	0,5	ТВО	выдергивание	3,60	270,7	ДМА без анкеров

* ДМА «Гладкая 50/1» была получена из фибры «Драмикс 50/1» путем отрезания анкерных отгибов

Из полученных результатов следует, что по показателям анкерующей способности фибры (значения τ_{cf} и σ_f) в цементном матричном составе, в порядке убывания, ДМА располагаются в следующий ряд: «Весло 50/1», «Волна 50/1», «Драмикс 50/1» и «РТСЛ 40/1,1». При испытании на выдергивание ДМА из цементной матрицы фибра

типов «Весло 50/1», «Волна 50/1» и «РТСЛ 40/1,1» разрушалась по поперечному сечению металла, а типа «Драмикс 50/1» выдергивалась из матричного состава с разгибом анкерного отгиба. Безанкерная фибра (ДМА «Гладкая 50/1») имеет значения касательного напряжения по поверхности и нормального напряжения по поперечному сечению соответственно в 2,1 и 2,9 раза меньше, чем анкерная ДМА типа «Драмикс 50/1». Применение вакуумирования увеличило значения τ_{cf} и σ_f соответственно на 2 и 5 %, а твердение в воде – на 16 и 19 % для анкерной дисперсной металлической арматуры (ДМА) типа «Драмикс 50/1».

Приведены зависимости показателей анкерующей способности и характера работы арматуры в матрице композита от условий твердения и вакуумирования при дисперсном армировании каркасных бетонов. Лучшие характеристики анкерующей способности в цементной матрице каркасного бетона имеют в нисходящем порядке: «Весло 50/1», «Волна 50/1», «Драмикс 50/1» и «РТСЛ 40/1,1».

Список литературы

1. Рабинович, Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции / Ф.Н. Рабинович. – М.: Изд-во «АСВ», 2004. – 559 с.
2. Каркасные строительные композиты: в 2 ч. Ч. 1. Структурообразование. Свойства. Технология / В.Т. Ерофеев, Н.И. Мищенко, В.П. Селяев, В.И. Соломатов; под ред. акад. РААСН В.И. Соломатова. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1995. – 200 с.
3. Лихолетов, О.Д. Пофазное формирование структуры полимербетонов / О.Д. Лихолетов, Н.А. Мощанский, И.Е. Путляев // Применение полимерных смол в бетонных и железобетонных конструкциях. – Вильнюс, 1971. – С. 113–115.

References

1. Rabinovich, F.N. Composites on the basis of dispersion-reinforced concretes. Questions of theory and design, technology, design / F.N. Rabinovich. – M.: Publ. «ASV», 2004. – 559 p.
2. Carcass construction composites: in 2 hours. H. 1. Structure formation. Properties. Technology / V.T. Erofeev, N.I. Mishchenko, V.P. Seliaev, V.I. Solomatov; edited By acad. RAASN V.I. Solomatov. – Saransk: Publ. of the Mordov. Un-ty, 1995. – 200 p.
3. Liholetov, O.D. Phased formation of polymer concretes structure / O.D. Liholetov, N.A. Motchanskiy, I.E. Putliaev // The Use of polymer resins in concrete and reinforced concrete structures. – Vilnius, 1971. – P. 113–115.

Запорожская государственная инженерная академия

Украина, 69006, г. Запорожье, пр. Ленина, д. 226

Бичевой Петр Павлович,
профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство»

Козырева Екатерина Николаевна,
аспирант кафедры «Промышленное и гражданское строительство»
E-mail: katerina.kozyreva@mail.ru

Zaporozhye state Engineering academy

Ukraine, 69006, Zaporozhye, 226,
Prospect Lenina

Bichevoy Petr Pavlovich,
Professor of the department «Industrial and civil building»

Kozyreva Katerina Nikolaivna,
Postgraduate of the department «Industrial and civil building»
E-mail: katerina.kozyreva@mail.ru

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГИДРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ПРИГОДНОСТИ МНОГОСЛОЙНОГО КРОВЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ БИТУМНО-ПОЛИМЕРНЫМИ КОМПОЗИЦИЯМИ

П.П. Бичевой, Е.Н. Козырева

Представлен анализ существующих технологий ремонта битумно-рубероидного покрытия, позволивший выявить ряд недостатков, устранение которых обусловило развитие более эффективных технологий, базирующихся на использовании остаточного потенциала кровельного покрытия с последующим их усилением ремонтными композициями специального состава.

Ключевые слова: битумно-полимерные композиции, ремонтно-восстановительные технологии, проникающая способность, водопоглощение, условная прочность.

ESTIMATION OF TECHNOLOGY FOR RENEWAL WATERPROOFING FITNESS OF MULTI-LAYERED ROOFING COVERAGE BY BITUMINOUS-POLYMERIC COMPOSITIONS

P.P. Bichevoy, K.N. Kozyreva

The analysis of existent technologies for repairing bituminous-ruberoid coverage has been made, that allowed to find some drawbacks. They stipulated development of more effective technologies, being based on the using of remaining potential of roofing coverage with subsequent strengthening by special repair compositions is represented.

Keywords: bituminous-polymeric compositions, repair-restoration technologies, penetrable ability, water satiation, conditional durability.

Созданный за истекшие десятилетия фонд многослойных мягких кровельных покрытий с их систематическим ремонтом со средней периодичностью в 5...7 лет возвел поиск эффективных ремонтно-восстановительных технологий в ранг острой проблемы, успешное решение которой зависит от многих факторов влияния. В сложившихся обстоятельствах фронт кровельных работ переориентирован из нового строительства в ремонтную область, доля которой составляет более 80 % общего объема [1]. В то же время технологии ремонтных процессов в большей мере заимствованы из нового строительства без существенной корректировки применительно к иной специфике условий. Результаты ремонтных технологий оценивают как малоэффективные по затратам и долговечности восстановленных покрытий.

Поэтому работы в области поиска конкурентоспособных технологий, позволяющих увеличить межремонтный период и ресурсосбережение, следует назвать актуальными.

Цель. Определить технологические показатели восстановленной гидроизолирующей способности с помощью технологий ремонтных битумно-полимерных композиций мастичного типа.

В ремонтной практике используется несколько технологий, направленных как на устранение отдельных дефектов и повреждений, так и на ремонт покрытий в целом. Согласно рекомендациям [2, с.12–13] состояние повреждений гидроизолирующих покрытий оценивают от нормального до аварийного с промежуточными удовлетворительным и непригодным к эксплуатации в зависимости от отсутствия или наличия локальных повреждений разной степени, без или с протеканием кровли.

Известные технологии [3] направлены на устранение отдельных повреждений, условно именуемых точечными, в виде вздутий, разрывов, отслоений, ремонт которых позволяет получить кратковременные результаты без долговременной и надежной эксплуатации примыкающих участков поверхности. В последующем под воздействием внешних факторов происходит дальнейшее развитие повреждений, покрытие ковра теряет свою функциональную пригодность. Для сплошного ремонта многослойного ковра находят применение две основные технологии, условно именуемые рулонными или безрулонными, с дополнительным устройством слоя соответственно с наклеиванием рулонного материала или нанесением мастичного слоя.

Как отмечено в работах [4, 5], устройство дополнительного слоя связано с сохранением в нижележащих слоях всех причин появления повреждений ковра, среди которых следует выделить увлажненность и которые неизбежно вызовут последующую ускоренную потерю пригодности.

Низкие результаты по надежности и уровню затрат привели к выводу о необходимости поиска более эффективных технологических решений.

Реализация поставленной цели разработки конкурентоспособных технологий требует решения следующих задач:

- разработать принципы способов ремонта, которые направлены на расширение функций дополнительного мастичного слоя и возможное использование с усилением его остаточного потенциала за счет применения ремонтных композиций мастичного типа, способных проникать в толщу многослойного ковра;
- установить оптимальные параметры ремонтных композиций мастичного типа, удовлетворяющих требованиям восстановления и усиления гидроизолирующих функций покрытия;
- выявить закономерности проявления эксплуатационной пригодности мягкого ковра применяемой технологией.

Повреждения многослойного покрытия связаны с процессами деструкции покровного слоя рулонного материала, что четко указывает на главные направления разработки конкурентоспособной технологии – использование ремонтных композиций, способных обогатить покровный или защитный слой ковра и, тем самым, не только компенсировать недостающие компоненты, но и обогатить дополнительными ингредиентами. Цикл предварительно выполненных исследований позволил путем отбора выявить компоненты, соответствующие заданным условиям. Их выбор был предопределен главной функцией каждой составляющей в формировании свойств композиции: уайт-спирит (или керосин) растворяет все компоненты, обеспечивает повышенную проникающую способность и перемещает их в толщу ковра; дизельное масло имеет большую гидрофобность и усиливает проникающую способность уайт-спирита (керосина), возобновляет потерянные легколетучие и деструктированные фракции существующего битумного слоя, улучшает его состав; нефтебитум вместе с растворителями проникает в примыкающую толщу существующего ковра, возвращает покрытию потерянный гидроизолирующий потенциал; каучук (или полимер) совместно с другими компонентами проникает в поверхностный слой покрытия, модифицирует его, способствует увеличению долговечности.

Пригодность технологии к восстановлению и улучшению гидроизолирующих функций покрытий оценивали на основе раскрытых закономерностей влияния на показатели водопоглощения, проникающей способности, долговечности, полученных

экспериментальным путем в соответствии со стандартными методиками [6]. Проницающую способность композиции устанавливали с использованием принципов проведения эксперимента [7], имитирующих реальные условия работы материала. При этом показатели водопоглощения, проникающей способности и долговечности восстановленного покрытия одновременно использовали для оптимизации состава, обеспечивающего достаточно высокие эксплуатационные характеристики.

Наиболее полное влияние данной технологии на показатели эксплуатационных свойств может описать полиномиальная модель второго порядка со взаимным влиянием компонентов.

В качестве оценочных параметров были приняты стандартные методы исследований водопоглощения [6, с.12–13]; проникающей способности (глубина проникания смеси, мм, в толщу многослойной фильтровальной бумаги ТУ 2-022227-22-89) [7, с. 92]; долговечности (по изменению прочности насыщенного смесью рубероида после испытаний в камере искусственного климата согласно стандарту [6, с.4–8]).

Принятая модель была рассчитана по 4-факторному (4 оптимальные точки) 3-уровневому композиционному несимметричному плану. Вариации значений принятых составляющих, значения параметров оптимизации, результаты эксперимента и упрощенная матрица планирования приведены в таблице.

№ п/п	Значение фактора								Значения параметров оптимизации		
	в кодových значениях				в натуральных значениях						
	X1	X2	X3	X4	уайт-спирит	битум	масло дизельное	каучук	Коэф. водопоглощения, W % (Y ₁)	Проницающая способность (Y ₂)	Условная прочность, кгс/см ² (Y ₃)
1	-1	+1	+1	+1	30	25	35	6	0,095	2,8	93,33
2	+1	+1	+1	+1	40	25	35	6	0,212	3,5	62,96
3	+1	+1	+1	-1	40	25	35	1	0,294	3,7	62,47
4	+1	+1	-1	-1	40	25	25	1	0,327	4,1	58,35
5	+1	-1	-1	-1	30	15	25	1	1,695	5,5	20,25
6	-1	-1	-1	-1	30	15	25	1	1,451	5,3	29,14
7	+1	+1	+1	0	40	25	35	3	0,181	3,1	77,78
8	+1	+1	0	0	40	25	30	3	0,512	4,8	52,59
9	+1	0	0	0	40	20	30	3	0,859	4,9	31,11
10	0	0	0	0	35	20	30	3	0,901	5	30,15
11	+1	+1	-1	0	40	25	25	3	0,942	5,1	30,89
12	+1	-1	0	0	40	15	30	3	1,178	5,2	27,38
13	-1	0	0	0	30	20	30	3	0,671	4,85	72,85
14	-1	-1	0	0	30	15	30	3	1,168	5,15	15,58
15	-1	-1	-1	0	30	15	25	3	1,497	5,35	16,01
16	+1	-1	+1	-1	40	15	35	1	0,957	5,12	15,45

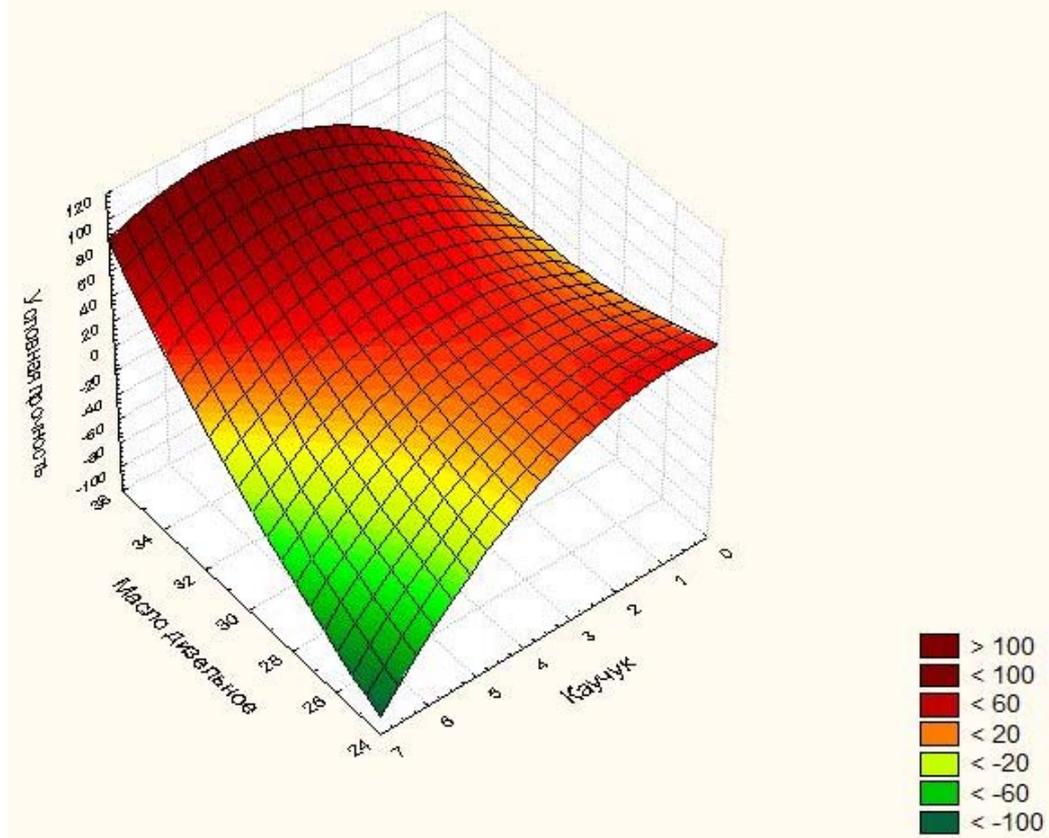


Рис. 1. Зависимость долговечности покрытия от содержания каучука и дизельного масла

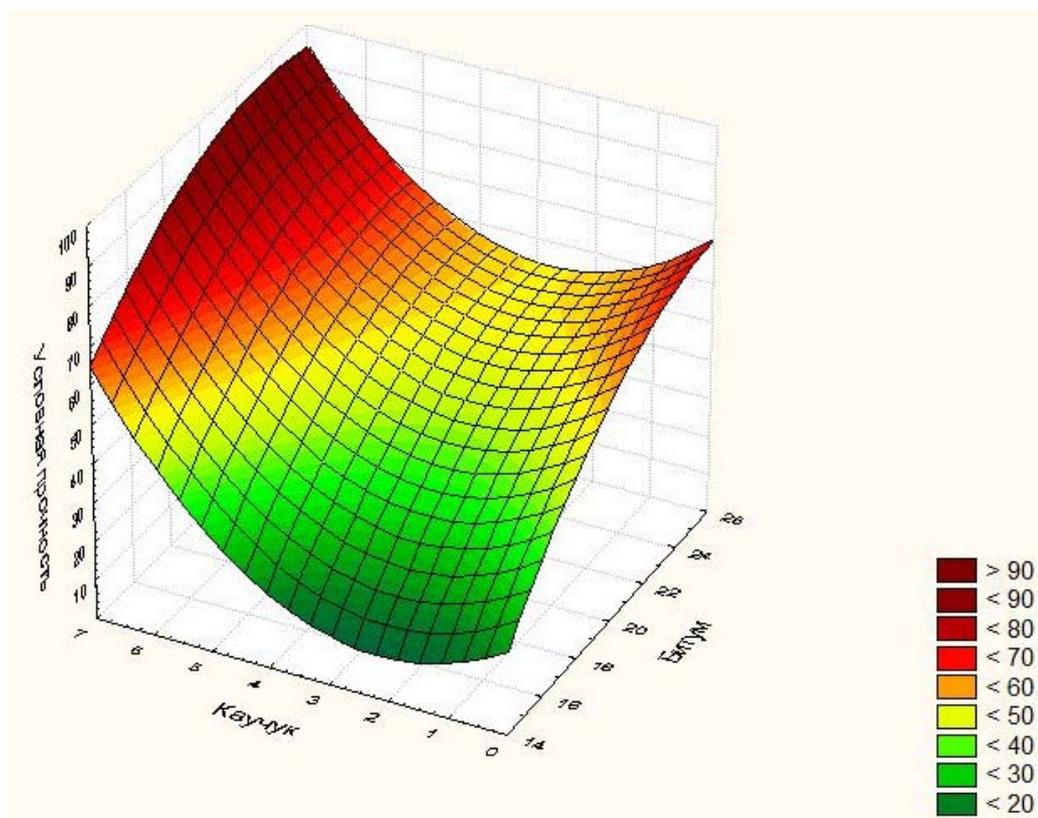


Рис. 2. Зависимость долговечности покрытия от содержания каучука и битума

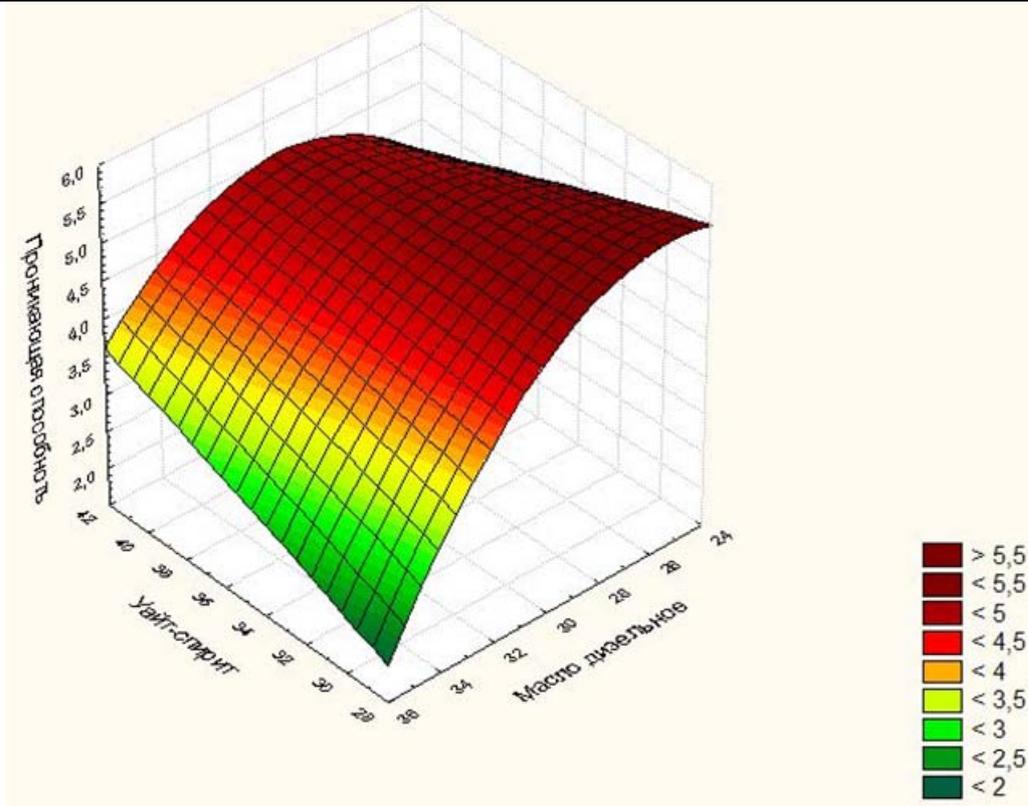


Рис. 3. Зависимость проникающей способности ремонтной композиции от содержания уайт-спирита и дизельного масла

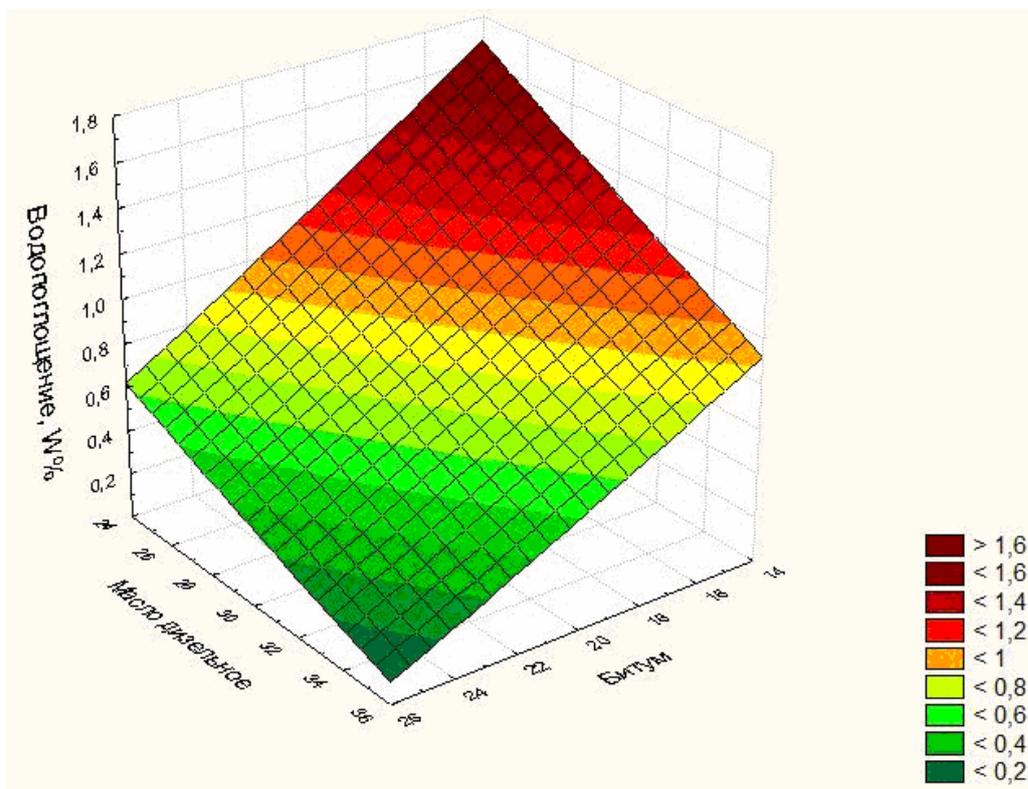


Рис. 4. Зависимость водопоглощения покрытия от содержания дизельного масла и битума в ремонтной композиции

С помощью набора прикладных компьютерных программ Microsoft Excel, STATISTICA 8.0 матричным методом были найдены коэффициенты регрессии и выявлена статистическая значимость коэффициентов критерияльным методом Стьюдента. Методом гипотетической оценки по критерию Фишера выполнена проверка полученной модели на адекватность. Квази-ньютоновским методом определены оптимальные значения факторов в натуральных величинах.

После названных операций полученная математическая модель, которая описывает влияние компонентов на характеристики смеси, имеет следующий вид:

$$Y_1 = 0,7611 + 0,1337X_1 - 0,317X_2 - 0,246X_3 - 0,26X_4 + 0,1563X_1X_2 + 0,0901X_1X_3 - 0,1X_1X_4 + 0,1882X_2X_3 + 0,2229X_2X_4 + 0,1488X_3X_4;$$

$$Y_2 = 4,3218 + 1,2688X_1 - 0,266X_2 - 0,419X_3 - 1,025X_4 + 1,2635X_1X_2 + 0,5041X_1X_3 - 0,731X_1X_4 + 0,8782X_2X_3 + 0,8482X_2X_4 + 0,7282X_3X_4;$$

$$Y_3 = 40,958 + 23,121X_1 + 7,4382X_2 + 1,77X_3 - 7,4206X_4 + 20,224X_1X_2 + 5,9853X_1X_3 - 5,0382X_1X_4 + 9,1488X_2X_3 + 3,6441X_2X_4 + 9,1759X_3X_4.$$

Построение трехмерных графических интерпретаций 4-факторной модели выполняется с поочередными значениями двух факторов на определенном (оптимальном) уровне интервала варьирования. Для этого ранее описанными методами были получены оптимальные точки и значения функций в данных точках:

$$\text{для } Y_1 \rightarrow \min; \text{opt}[W(30; 25; 35; 6)] = 0,095 \% \quad (1)$$

$$\text{для } Y_2 \rightarrow \min; \text{opt}[W(30; 25; 35; 6)] = 2,8 \text{ мм} \quad (2)$$

$$\text{для } Y_3 \rightarrow \min; \text{opt}[W(30; 25; 35; 6)] = 93,33 \text{ кгс/см}^2 \quad (3)$$

На рис. 1, 2, 3 приведены графические зависимости влияния компонентов на технические и эксплуатационные свойства ремонтной мастики.

Из анализа приведенных уравнений регрессии (1), (2), (3) и закономерностей (рис. 1–4) видно, что оптимальные значения компонентов равняются: для уайт-спирита (или керосина) – 30 мас.частиц; для битума – 25 мас.частиц; для дизельного масла – 35 мас.частиц; для каучука – 6 мас.частиц.

Представленные в таблице и на рис. 1...3 результаты позволяют сделать вывод о возможности получить достаточно высокие показатели эксплуатационной пригодности покрытий, в том числе долговечности с использованием ремонтных битумно-полимерных (каучуковых) композиций.

Выводы. Предложенная технология ремонта с использованием композиций мастичного типа предоставляет успешную возможность использовать остаточный потенциал покровных слоев битумно-рубероидного ковра, усиливать его и, тем самым, обеспечивать надежную гидроизолирующую функцию и долговечность за счет проникающе-насыщающего действия наносимой смеси.

С учетом доступности и недефицитности компонентов, простоты изготовления согласно общепринятым технологиям ремонтные композиции, по результатам исследований, позволяют оценивать их как конкурентоспособные по критериям эффективности и надежности.

По отношению к известным приведенная технология ремонтно-восстановительных работ позволяет отнести ее к особенной разновидности, в которой подавляющее большинство операций потенциально подлежат высокой степени механизации и обеспечивают достаточно высокое качество результатов, большую прогнозируемость, меньшую степень влияния квалифицированного уровня исполнителей.

Список литературы

1. Классификатор основных видов дефектов в строительстве и промышленности строительных материалов. – М.: Госархстройнадзор России, 1993.
2. Методические рекомендации по обследованию некоторых частей зданий (сооружений) и их конструкций. НИИСП, г. Киев, НИИСК, г. Киев от 27 ноября 1997 г. №32/288 и от 30 марта 1998 г. №62/48.
3. Бадьин, Г.М. Справочник строителя-ремонтника / Г.М. Бадьин, В.А. Заренков, В.К. Иноземцев. – М.: АСВ, 2002. – 496 с.
4. Гитлина, А.С. Эксплуатация и ремонт крыш и кровель / А.С. Гитлина. – Л.: Стройиздат, 1980. – 64 с.
5. Лукинский, О.А. Почему протекают кровли / О.А. Лукинский // Жилищное и коммунальное хозяйство. – 1993. – № 7. – С. 20–25.
6. ГОСТ 2678–94. Материалы рулонные кровельные и гидроизоляционные. Методы испытаний. – М.: ВНИИстройполимер АООТ «Полимерстройматериалы» Российской Федерации, 1994. – 94 с.
7. Богданова, Т.И. Ингибированные нефтяные составы для защиты от коррозии / Т.И. Богданова, Ю.Н. Шехтер. – М.: Химия, 1984. – 247 с.

References

1. Classifier main types of defects in the construction and building materials industry. M.: Gosarhstroy nadzor Russia, 1993.
2. Guidelines on inspection of certain parts of buildings (structures) and their design. NIISP, Kiev, NIISK in Kiev on November 27, 1997 № 32/288 and dated March 30, 1998 № 62/48.
3. Bad'in, G.M. Directory builder-repairman / G.M. Bad'in, V.A. Zarenkov, V.K. Inozemcev. – M.: Izdatel'stvo associacii stroitel'nyh VUZov, 2002. – 496 p.
4. Gitlina, A.S. Operation and repair of roofs and roofing / A.S. Gitlina. – L.: Strojizdat, 1980. – 64 p.
5. Lukinskij, O.A. Why proceed roof / O.A. Lukinskij // Housing and communal services. – 1993. – № 7. – P. 20–25.
6. GOST 2678–94. Materials roll roofing and waterproofing. test methods. – M.: VNIISTrojpolimer AOOT «Polimerstrojmaterialy» Russian Federation, 1994. – 94 p.
7. Bogdanova, T.I. Inhibited oil formulations for corrosion protection / T.I. Bogdanova, Ju.N. Shehter. – M.: Chemistry, 1984. – 247 p.

УДК 691.542:666.971.16

*Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева*

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

Низина Татьяна Анатольевна,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»,
советник РААСН
E-mail: nizinata@yandex.ru

Кочетков Сергей Николаевич,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: ser.ko@mail.ru

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

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

Nizina Tatyana Anatolevna,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Building designs», Adviser of the
Russian Academy of Architectural and
Construction Sciences
E-mail: nizinata@yandex.ru

Kochetkov Sergei Nikolayevich,
Postgraduate of the department «Building
designs»
E-mail: ser.ko@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ

Т.А. Низина, С.Н. Кочетков

Приведены результаты исследований и оптимизации влияния 6 видов модификаторов на основе водорастворимых аддуктов нанокластеров углерода на реологические и прочностные характеристики цементных вяжущих. Подтверждена возможность сокращения расхода поликарбоксилатного пластификатора Melflux 1641 F за счет применения указанных добавок.

Ключевые слова: цементные композиты, аддукты нанокластеров углерода, суперпластификатор, предел прочности при сжатии; подвижность.

OPTIMISATION OF NANOMODIFIED CEMENT BINDING COMPOSITIONS

T.A. Nizina, S.N. Kochetkov

The results of research and optimization of the influence of six kinds of modifiers (on the basis of water-soluble adducts of carbon nanoclusters) on the reological and strength features of cement bindings. The possibility of reducing expenditure of polycarboxylate plasticizer Melflux 1641 F due to the use of the mentioned additives is confirmed.

Keywords: cement composites; adducts of carbon nanoclusters; superplasticizer; compressing strength; mobility.

На современном этапе истории человечества перспективным представляется развитие нанотехнологий и наноиндустрии во всех сферах производства, в том числе и в строительной отрасли. Внедрение нанотехнологий в области строительства должно быть направлено на разработку новых видов материалов, а также улучшение уже существующих путем их наномодификации.

В современном строительстве широко распространены и активно используются цементные растворы и бетоны, от которых требуются высокая подвижность (П4–П5) и сохраняемость достигнутого уровня реологических характеристик во времени. Кроме того, цементные составы должны обладать более высокой скоростью набора проектной прочности, что позволит ускорить возведение зданий и сооружений. Следует отметить, что наряду с высокими технологическими и эксплуатационными характеристиками разрабатываемых материалов немаловажным критерием является их себестоимость.

В настоящий момент для повышения реологических параметров бетонных смесей все более широкое распространение приобретают пластификаторы на основе поли-

карбоксилатов, отличающихся чрезвычайно высокой пластифицирующей способностью. Однако они являются достаточно дорогим продуктом, что приводит к росту себестоимости готовой продукции. В этих условиях крайне актуальной задачей является поиск и исследование путей снижения технологических концентраций пластификаторов с учетом обеспечения необходимых реологических и прочностных характеристик цементных растворов и бетонов.

В целях решения поставленной задачи предлагается использовать модификаторы на основе водорастворимых аддуктов нанокластеров углерода (АНКУ), разработанных ЗАО «НТЦ Прикладных Нанотехнологий» (г. Санкт-Петербург) и позволяющих сократить расход поликарбоксилатных пластификаторов, переводя их за счет модификации из «супер» в гиперпластификаторы [1, 2]. С помощью предлагаемых к использованию в качестве модификаторов водорастворимых соединений углерода можно получать устойчивые водные растворы, что значительно упрощает технологию их введения в состав растворных и бетонных смесей.

В исследовании использовались портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Б, выпускаемый компанией ОАО «Мордовцемент», и поликарбоксилатный пластификатор Melflux 1641 F (Германия), содержание которого в составе смесей составляло от 0,4 до 0,8 % от массы цемента. Концентрация исследуемых добавок (АНКУ 2, АНКУ 5, АНКУ 5А, АНКУ 6, НКУ и АСК) варьировалась в диапазоне 0...6 % от массы пластификатора; В/Ц отношение составляло 0,27...0,31.

Анализ проведенных исследований показал, что увеличение содержания поликарбоксилатного пластификатора Melflux 1641 F с 0,4 до 0,8 % от массы цемента позволяет значительно повысить подвижность составов (рис. 1). Наибольший распыл, достигающий при максимальных значениях варьируемых величин 35 см, зафиксирован для модификатора АНКУ 2 (рис. 1, а). Также высокой эффективностью обладает модификатор АНКУ 5 (рис. 1, б). Необходимо отметить, что эффект от введения в состав цементного вяжущего вышеуказанных аддуктов существенно повышается при расходе пластификатора 0,4 % от массы цемента, что подтверждает возможность снижения концентрации Melflux 1641 F.

Для количественной оценки эффективности вводимых наномодификаторов было проанализировано изменение относительного распыла, определяемого как отношение распыла вяжущего с модификатором к распылу состава без модификатора при одном и том же В/Ц-отношении и содержании пластификатора. Установлено, что максимальный прирост распыла наблюдается при минимальном расходе пластификатора (0,4 % от массы цемента) при содержании АНКУ 2 или АНКУ 5 в количестве 6 % от массы пластификатора.

Из анализа рис. 2 и 3, на которых представлены максимальные значения прироста распыла, наблюдаемые на всем исследуемом интервале варьирования В/Ц-отношения, видно, что прирост распыла за счет введения наномодификаторов достигает почти 200 %, что свидетельствует о возможности снижения его расхода почти в 2 раза. Для модификаторов АНКУ 5А и АНКУ 6 максимальные значения прироста распыла составляют 40...50 % при введении 0,8 % Melflux 1641 F и наибольшем их содержании (6 %). Наименьшее положительное влияние на увеличение распыла, не превышающее 5...12 %, оказывают наночастицы НКУ и АСК.

В ходе исследования установлено влияние наномодификаторов на изменение предела прочности при сжатии (см. рис. 2). Выявлено, что наибольшие абсолютные значения прочности цементных композитов (120 МПа) достигнуты при использовании модификаторов АНКУ 2 и 6 (рис. 2, а, г), позволяющих повысить данную характеристику на 30...40 % (по отношению к контрольным составам). Достаточно высокие показатели зафиксированы для композитов, модифицированных АНКУ 5, 5А и АСК (110 МПа) (рис. 2, б, в, е). Прирост прочности для составов с содержанием данных модификаторов превышает 30 %. Наименьшей эффективностью обладают наночастицы НКУ (рис. 2, д), являющиеся исходным продуктом синтеза водорастворимых аддуктов.

Анализ изменения относительного предела прочности при сжатии для составов, которые модифицированы АНКУ 2 или АНКУ 5 и для которых зафиксирован самый высокий прирост расплыва, показал, что наибольший эффект также наблюдается при содержании пластификатора 0,4 % от массы цемента (рис. 4). Максимальный прирост предела прочности при сжатии за счет введения данных видов АНКУ (6 % от массы MF 1641 F) составляет, соответственно, 50 и 35 %.

Выбор оптимальных составов с комплексом характеристик, превышающих немодифицированные составы по реологическим параметрам и пределу прочности при сжатии, проводился на основе методов скаляризации и экспериментально-статистического моделирования [3].

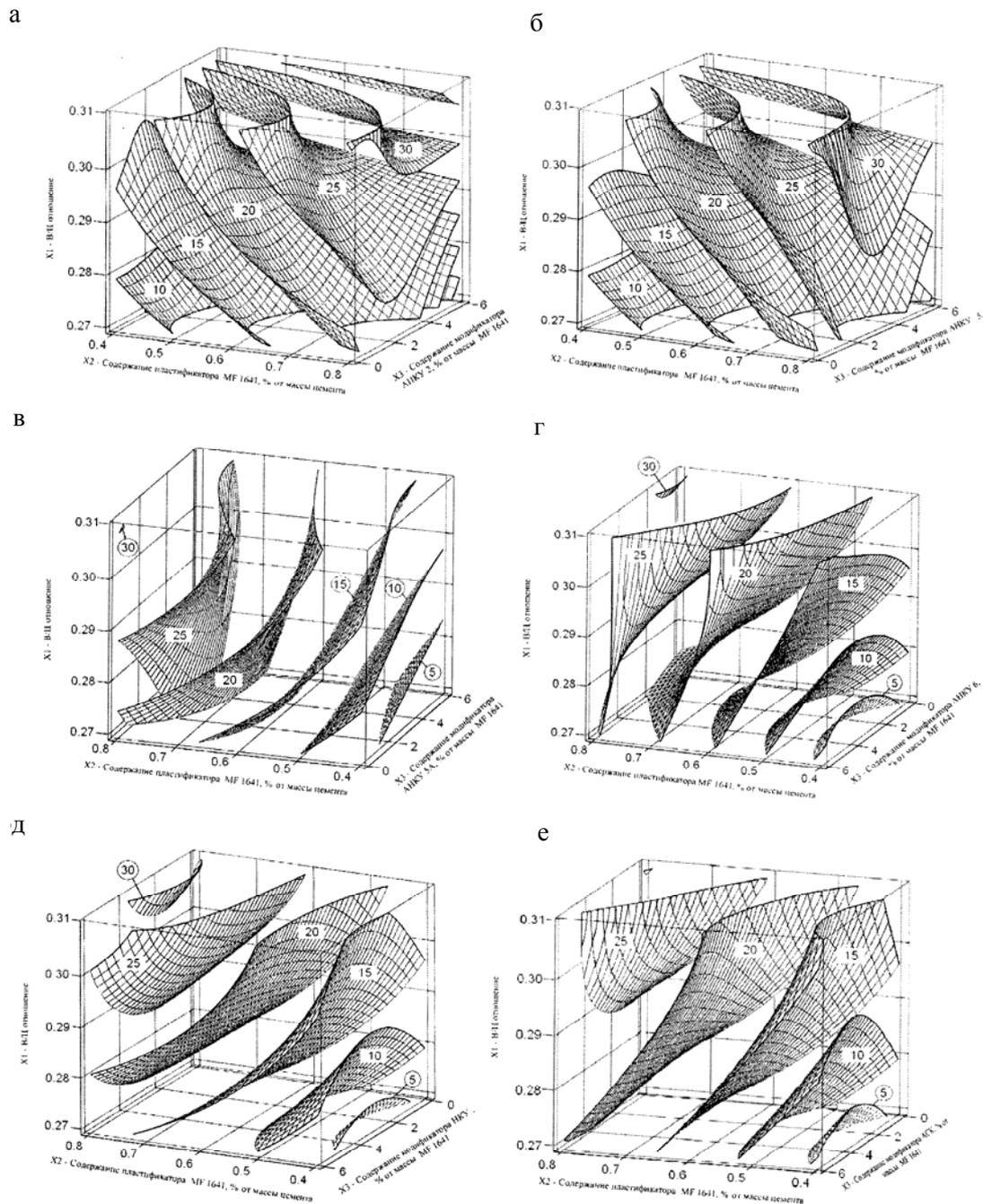


Рис. 1. Расплыв цементного теста (см), модифицированного аддуктами нанокластеров углерода: а – АНКУ 2; б – АНКУ 5; в – АНКУ 5А; г – АНКУ 6; д – НКУ; е – АСК

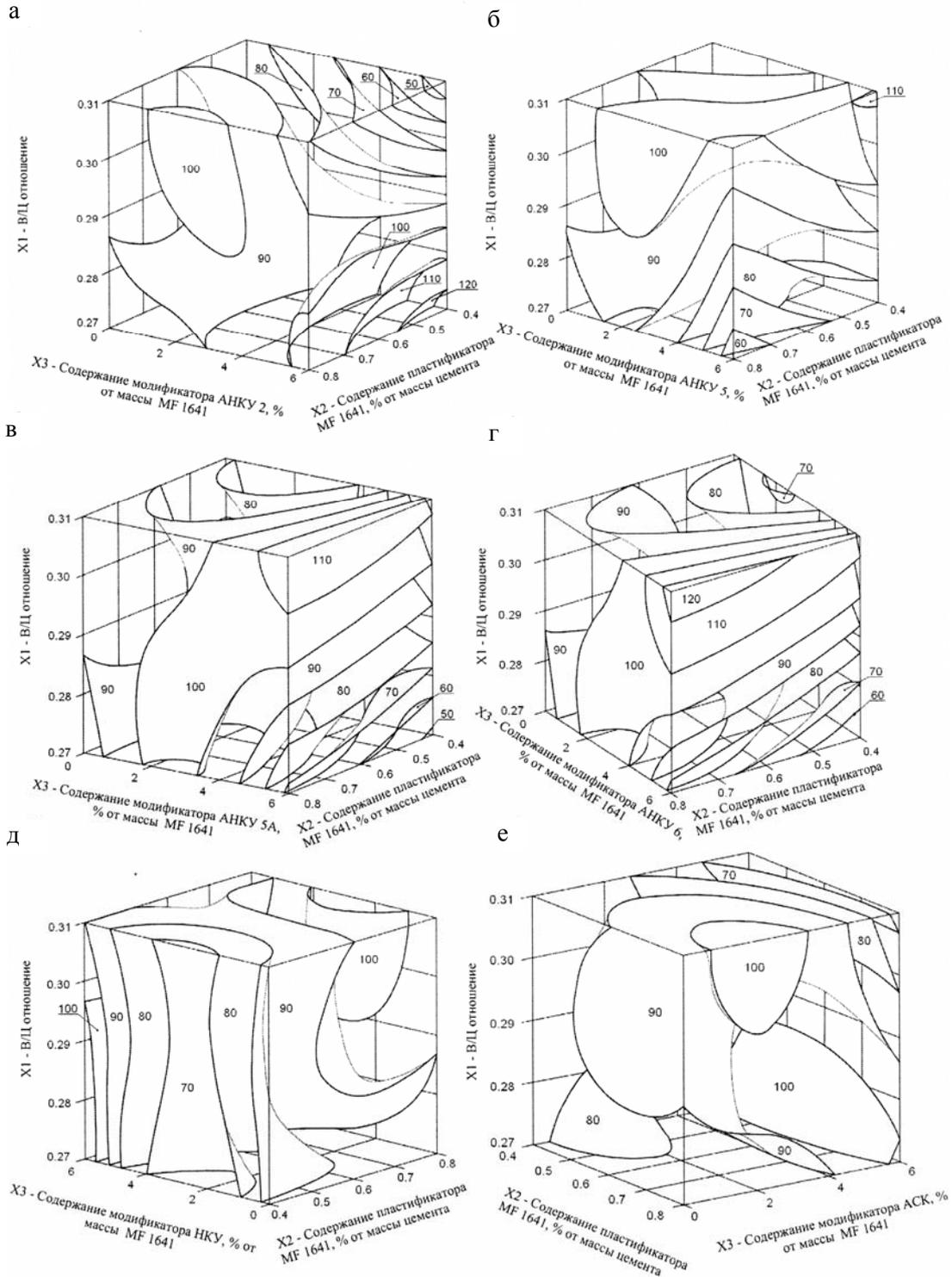
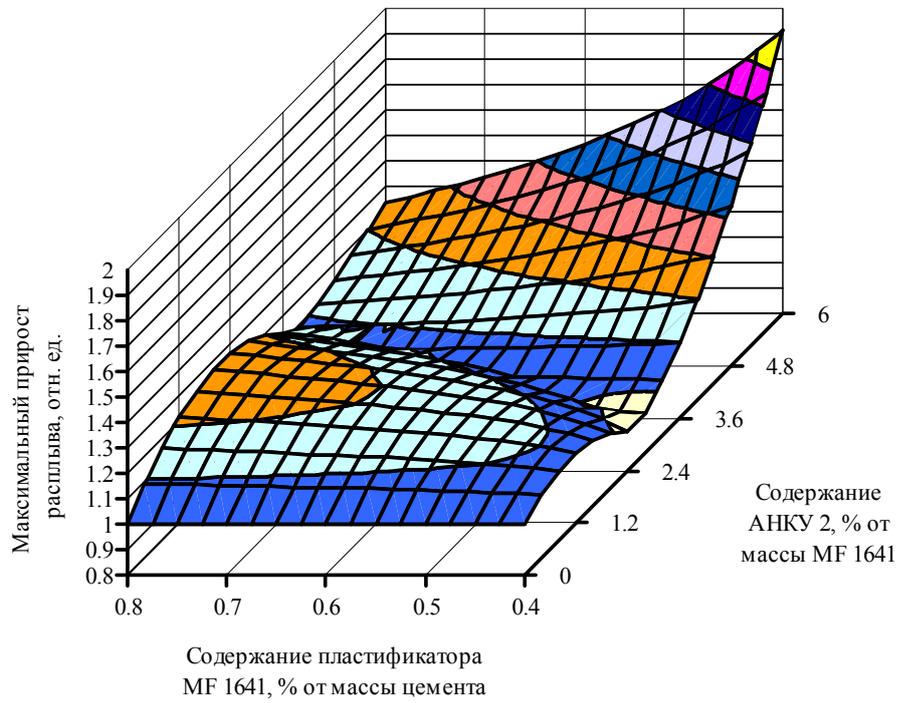


Рис. 2. Предел прочности при сжатии цементного камня (МПа), модифицированного аддуктами нанокластеров углерода:
 а – АНКУ 2; б – АНКУ 5; в – АНКУ 5А; г – АНКУ 6; д – НКУ; е – АСК

а



б

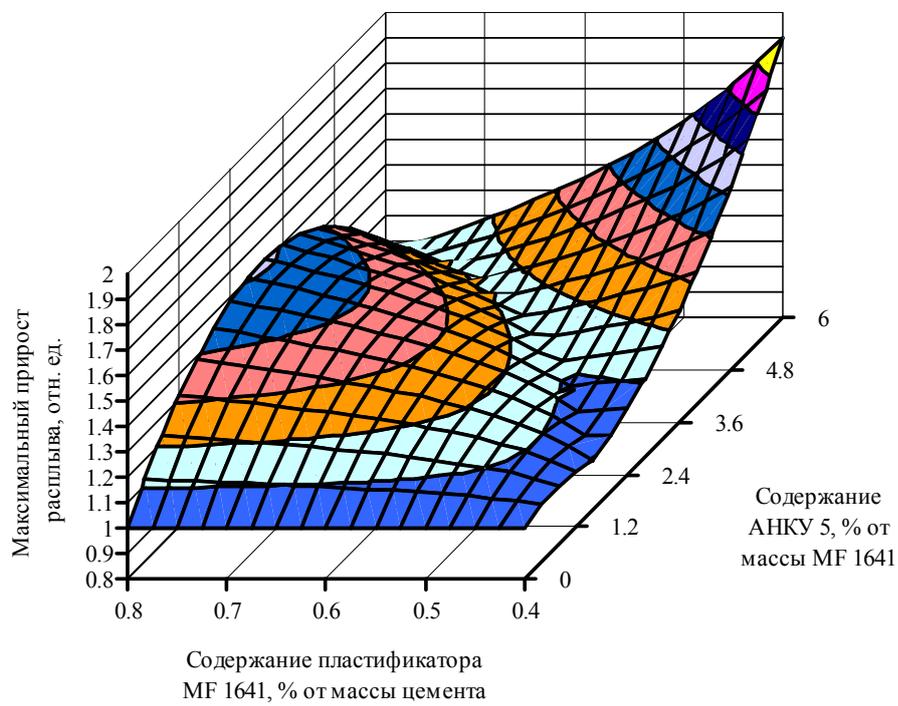


Рис. 3. Изменение максимальных значений прироста расплава цементного теста в зависимости от содержания пластификатора Melflux 1641 F и наномодификаторов АНКУ 2 (а) и АНКУ 5 (б)

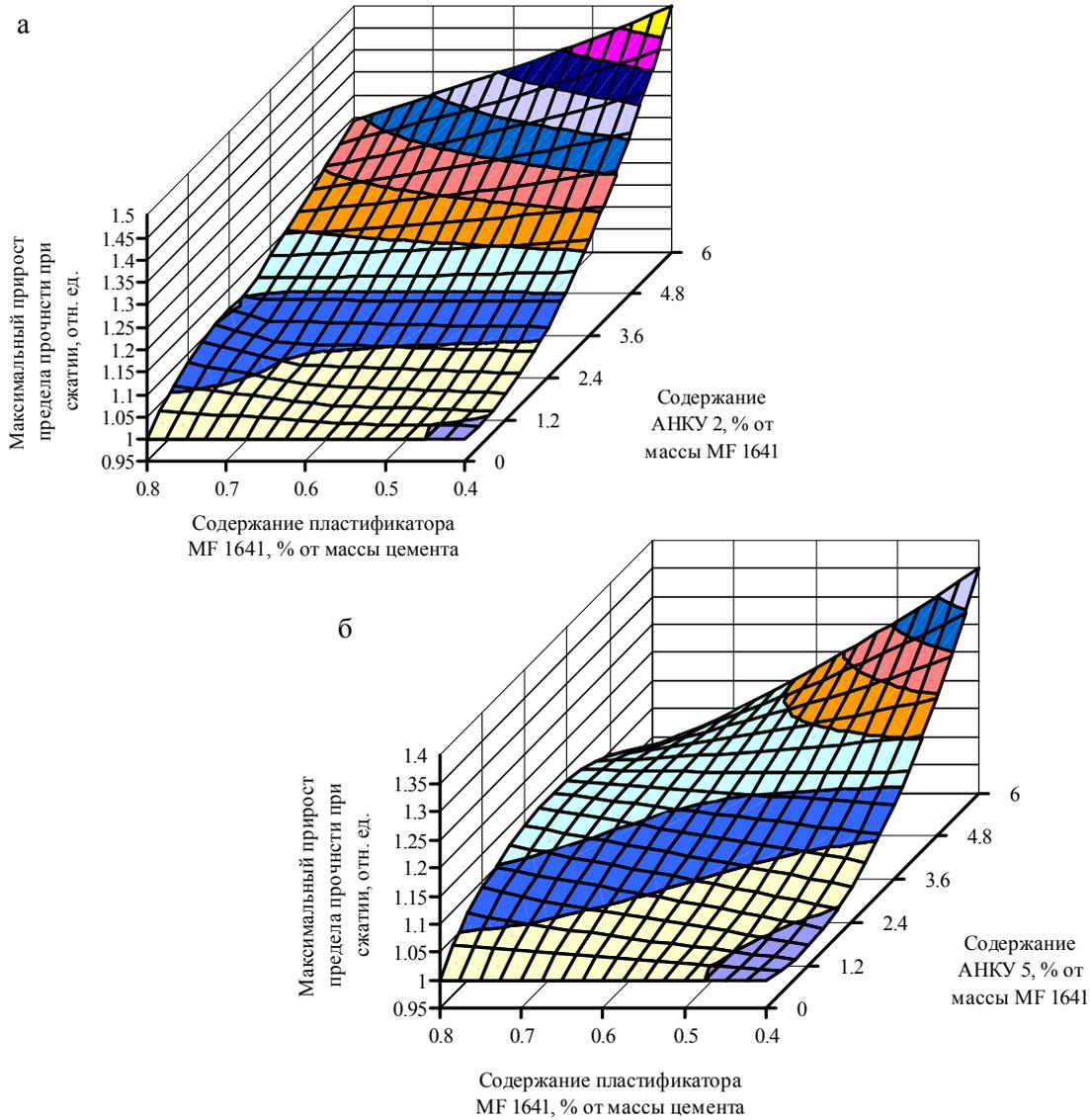


Рис. 4. Изменение максимальных значений прироста предела прочности при сжатии цементного камня в зависимости от содержания пластификатора Melflux 1641 F и наномодификаторов АНКУ 2 (а) и АНКУ 5 (б)

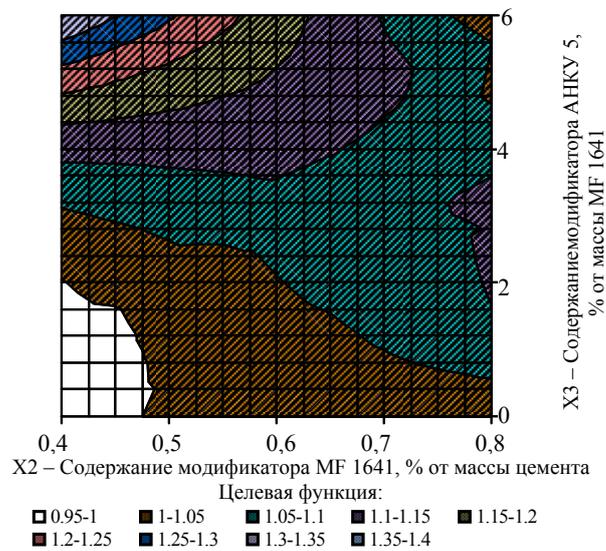


Рис. 5. Изменение максимальных значений целевой функции цементного композита в зависимости от содержания пластификатора Melflux 1641 F и наномодификатора АНКУ 5

Перед началом двухкритериального поиска рациональных составов были проанализированы основные обобщающие показатели полей в отдельности. Для расчета объема допустимой области использовался метод Монте-Карло. Для реализации данного метода с помощью программы Excel генерировалось около 5000 равномерно распределенных случайных чисел в исследуемом диапазоне. Затем производились расчет предсказанных значений критериев оптимизации, сортировка и подсчет количества величин, удовлетворяющих требуемым условиям.

Оптимизация по определению рациональных составов модифицированных вяжущих велась на полях двух свойств – прироста расплыва и относительного предела прочности при сжатии (с учетом равенства В/Ц-отношений). Максимум целевой функции определялся по формуле

$$q(x_1, x_2) = \min \left\{ \frac{P_{к(АНКУ)}}{P_{к(0)}}, \frac{R_{сж(АНКУ)}}{R_{сж(0)}} \right\}.$$

Произведенные расчеты показали, что наиболее высокие значения целевой функции получены для модификатора АНКУ 5. Результаты оптимизации, представленные на рис. 5, свидетельствуют о возможности значительного (до 35 %) повышения расплыва и предела прочности при сжатии при модифицировании используемого пластификатора АНКУ 5. Причем максимальное значение целевой функции ($q(x_1, x_2) = 1,35$) получено при минимальном расходе Melflux 1641 F (0,4 % от массы цемента) и максимальном содержании данного наномодификатора (6 % от массы Melflux 1641 F).

Проведенный анализ других наномодификаторов показал, что они также оказывают положительное влияние на технологические и эксплуатационные характеристики цементных вяжущих. Полученные результаты подтверждают возможность использования аддуктов нанокластеров углерода для модификации цементных вяжущих с целью повышения прочностных и реологических характеристик. Кроме того, введение данных модификаторов позволяет значительно снизить расход дорогого поликарбоксилатного пластификатора Melflux 1641 F в цементном вяжущем и, как следствие, себестоимость готовой продукции.

Список литературы

1. Пономарев, А.Н. Высококачественные бетоны. Анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологии / А.Н. Пономарев // Инженерно-строительный журнал. – СПб., 2009. – №6(8). – С. 25–33.
2. Низина, Т.А. Результаты экспериментальных исследований цементных композитов, модифицированных водорастворимыми аддуктами нанокластеров углерода / Т.А. Низина, А.Н. Пономарев, С.Н. Кочетков, А.А. Козеев // Вестник Волжского регионального отделения РААСН. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2011. – Вып. 14. – С. 117–120.
3. Гарькина, И.А. Преодоление неопределенностей целей в задаче многокритериальной оптимизации на примере разработки сверхтяжелых бетонов для защиты от радиации / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев, В.А. Смирнов // Строительные материалы. – 2006. – № 9. – С. 23–26.

References

1. Ponomarev, A.N. High-quality concrete. Analysis of the opportunities and the practice of using nanotechnology techniques / A.N. Ponomarev // Civil Engineering Journal. – St., 2009. – № 6 (8). – P. 25–33.
2. Nizina, T.A. Results of experimental studies of cement composites, modified water-soluble adducts of carbon nanoclusters / T. A.Nizina, A.N. Ponomarev, S.N. Kochetkov, A.A. Kozeev // Bulletin of the Volga regional branch RAASN. – Nizhny Novgorod: NNGASU, 2011. – №14 – P. 117–120.
3. Garkina, I.A. Overcoming of uncertainty goals in the problem of the multicriteria optimization on the example of superheavy concrete for protection from radiation / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev, V.A. Smirnov // Building Materials. – 2006. – № 9. – P. 23–26.

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

Романенко Игорь Иванович,

кандидат технических наук, доцент
кафедры «Механизация и автоматизация
производства»
E-mail: rom1959@yandex.ru

Петровнина Ирина Николаевна,

кандидат технических наук, доцент
кафедры «Механизация и автоматизация
производства»
E-mail: petrovnina.irina@yandex.ru

Пинт Эдуард Михайлович,

кандидат технических наук, профессор
кафедры «Механизация и автоматизация
производства»

Романенко Мария Игоревна,

студентка гр. ЭУС-51
E-mail: rom1959@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

Romanenko Igor Igorevich,

Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Mechanization and
automation of production»
E-mail: rom1959@yandex.ru

Petrovnina Irina Nikolaevna,

Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Mechanization and
automation of production»
E-mail: petrovnina.irina@yandex.ru

Pint Eduard Mihailovich,

Candidate of Sciences, Professor of the
department «Mechanization and automation
of production»

Romanenko Maria Igorevna,

student gr. EUS-51
E-mail: rom1959@yandex.ru

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ БЕТОНОВ В ОРГАНИЧЕСКИХ СРЕДАХ

И.И. Романенко, И.Н. Петровнина, Э.М. Пинт, М.И. Романенко

Приведены результаты исследований коррозионной стойкости модифицированных шлакощелочных бетонов при длительном хранении в водной среде, минеральном машинном масле, дизельном топливе, 10 %-м растворе сахара. В качестве модификатора структуры бетона использовались машинное масло и цеолитсодержащая глина. Установлено, что шлакощелочные бетоны, модифицированные машинным маслом и цеолитсодержащей глиной, характеризуются высокой коррозионной стойкостью в органических агрессивных средах.

Ключевые слова: шлаки, коррозия, модификатор, структурообразование, силикаты.

CORROSION RESISTANCE OF SLAG-ALKALINE CONCRETE IN ORGANIC ENVIRONMENTS

I.I. Romanenko, I.N. Petrovnina, E.M. Pint, M.I. Romanenko

The results of modified slag-alkaline concrete corrosion resistance research at long storage in water, mineral lubricating oil, diesel fuel, ten percent sugar solution are given. Lubricating oil and clay were used as concrete structure modifier. It is established that slag-alkaline concrete modified by lubricating oil and clay are characterised by highly corrosion resistance in organic hostile environment.

Keywords: slags, corrosion, modifier, structurization, silicates.

Конструкции пола, железобетонные опоры и емкости предприятий пищевой промышленности, химического синтеза в результате постоянных проливов органических веществ подвергаются коррозионному разрушению. Периодичность их восстановления 2–4 года.

С целью повышения долговечности строительных материалов и конструкций, используемых в химической и пищевой промышленности, экономии материальных ресурсов на ремонт и восстановление разрушенных строительных конструкций, весьма актуальна разработка модифицированных шлакощелочных бетонов (ШЩБ), стойких к действию агрессивных сред.

Сырьевой базой для выпуска шлакощелочных бетонов являются отходы производства, в частности шлаки металлургической, энергетической промышленности и литейных производств.

Целью исследований являлась разработка шлакощелочных бетонов, модифицированных цеолитсодержащей глиной и отработанным минеральным машинным маслом, стойких к действию агрессивных сред.

Были решены следующие задачи:

1. Исследовалась кинетика набора прочности модифицированных шлакощелочных бетонов при твердении в агрессивной органической среде.

2. Произведен анализ коррозионной стойкости шлакощелочных бетонов в зависимости от вида шлака и структурного модификатора (цеолитсодержащая глина, отработанное минеральное машинное масло) при твердении в органических средах.

Научная новизна исследовательской работы заключается в модифицировании структуры шлакощелочного бетона органическими добавками, которые являются сами по себе агрессивными для бетонов, – отработанное минеральное машинное масло.

В качестве основного сырья для проведения исследований использовались: доменный шлак Новолипецкого металлургического комбината и электротермофосфорный (ЭТФ) шлак электротермического производства фосфора Тольяттинского производственного объединения «Фосфор». Шлаки соответствуют требованиям ГОСТ 3476–74 «Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов». Химический состав шлаков представлен в табл. 2.

Новолипецкий металлургический и Тольяттинский электротермофосфорный шлаки использовали в виде молотых порошков с удельной поверхностью $S=3000-3500 \text{ см}^2/\text{г}$. Для изготовления шлакощелочных бетонов в качестве мелкого заполнителя применяли Сурский речной песок (ГОСТ 8736–93), а также кварцевый песок Тольяттинского месторождения (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Характеристики мелких заполнителей

Наименование показателей	Вид мелкого заполнителя	
	Сурский речной песок	Кварцевый песок Тольяттинского месторождения
Модуль крупности $M_{кр}$	1,29	1,84
Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	2695	2700
Объемная насыпная масса, $\text{кг}/\text{м}^3$	1460	1420
Пустотность, %	45,8	47,8
Содержание частиц, %:		
пылеватых	3,2	10,6
глинистых	0,8	2,8
Зерновой состав: частные остатки, % на ситах с размером отверстий, мм:		
2,5	0,5	0,3
1,25	0,2	0,8
0,63	3,8	4,0
0,315	23,8	25,8

Химический состав шлаков

Вид шлака	Массовая доля основных оксидов, %											M ₀	M _a	K
	MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	F	Fe ₂ O ₃	SO ₃	FeO	прочие			
Новолипецкий металлургический	1,1	38,6	42,1	7,2	8,6	–	–	0,6	0,6	0,7	0,5	1,0 4	0,2 2	1,5 6
Тольяттинский электротермофосфорный	–	42,2	45,2	3,3	3,4	2,1	2,7	0,2	0,5	–	0,4	1,0 7	0,0 8	1,2 3

В качестве щелочного компонента вяжущего использовали:

- жидкое натриевое стекло (ГОСТ 13078–81);
- едкий натр технический (ГОСТ 2263–79).

В качестве модификаторов структуры использовали два вида добавок:

- минеральное машинное масло, отход автопарка Пензенского ПО «Биосинтез»;
- цеолитсодержащую глину Лягушовского месторождения Пензенской области с 28 % содержанием цеолитов.

Машинное масло применяется в качестве «прививочного материала», вводимого на стадии приготовления ШЩБ. Так называемая «техническая вакцинация» ШЩБ способствует созданию механизма «адаптации» к агрессивным внешним воздействиям и самоорганизации порового пространства композиционного материала. Отработанное минеральное машинное масло имеет следующие характеристики: кислотность (в граммах КОН на 100 мл) – 6; содержание серы, %, – 0,12; содержание железа, %, – 0,2; содержание баббита (сплав свинца, олова, цинка, алюминия), %, – 0,91. Органическая часть машинного масла (80-90 %) представлена углеводородами и их производными, а минеральная часть (7-10 %) – в основном соединениями железа, меди, никеля, в виде оксидов и гидроксидов, а также высокодисперсной металлической фазой меди.

Цеолит, содержащийся в глине Лягушовского карьера, представлен минералом гепландитом ($\text{Ca}_4[\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}]24\text{H}_2\text{O}$), имеющим слоистую структуру с зернами размером 3–10 мм. Все цеолитовые пласты первоначально отложились как накопление вулканического пепла, иногда с примесью пемзы, и только потом под действием горячих вод этот пепловый материал – стекло, богатое кремниевой кислотой, – заместилось цеолитом. Цеолиты легко подвергаются ионному обмену.

Выбор цеолитсодержащей глины как структурообразующей добавки основан на том, что цеолит снижает в материале деформации и напряжения, а дисперсность частиц позволяет участвовать в организации микроструктуры связующего. Кроме того, при модификации ШЩВ цеолитсодержащей породой помимо адгезионного сцепления происходит химическое взаимодействие шлака с цеолитом и глиной. Присутствие тонкодисперсной глины, являющейся алюмосодержащей составляющей, позволяет связать излишнюю щелочь, не участвующую в процессе гидратации шлакового стекла, в натрийалюмосиликатные соединения и способствует образованию дополнительного резерва продуктов гидратации.

Изучением коррозионной стойкости ШЩБ занимались многие ученые [1–5, 7]. В ходе исследований была отмечена более высокая коррозионная стойкость ШЩБ, по сравнению с цементными композициями, в различных агрессивных средах.

Характеристика глины Лягушовского месторождения Пензенской области
(ГОСТ 2642–71, ТУ 9169–75)

Карьерная влажность, %	Число пластичности	Общая усадка	Гигроскопическая влажность, %	Гранулометрический состав по Рутковскому, %			
				Глинистые	Песчаные	Пылеватые	
20-24	14,3	5,1	3,31	11,9-15,8	30-35	49-59	
Массовая доля оксидов, %							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Прочие	п.п.п.
65,5	9,54	3,24	7,72	0,76	0,06	1,78	11,4

Примечание. Массовая доля цеолитов в глине Лягушовского месторождения 28 %.

Т а б л и ц а 4

Расход материалов на 1 м³ ШЩБ

Составы	Вид шлака	Расход материалов на 1 м ³ бетона, кг						Р/Ш
		Ш	П	А	МММ	ЦГ	вода	
контрольный	Новолипецкий	651	1627,6	52,08	–	–	273,4	0,42
ЦГ 24 %		651	1627,6	52,08	–	156,2	338,5	0,52
ЦГ 35 %		651	1627,6	52,08	–	227,9	338,5	0,52
МММ 8 %		651	1627,6	52,08	52,08	–	279,9	0,43
МММ 4 %		651	1627,6	52,08	26	–	279,9	0,43
МММ 4 %, ЦГ 24 %		651	1627,6	52,08	26	156,2	279,5	0,43
МММ 8 %, ЦГ 24 %		651	1627,6	52,08	52,08	156,2	299,9	0,46
МММ 4 %	ЭТФ	651	1627,6	52,08	26	–	279,9	0,40
МММ 4 %, ЦГ 24 %		651	1627,6	52,08	26	156,2	279,9	0,43
МММ 8 %, ЦГ 24 %		651	1627,6	52,08	52,08	156,2	299,5	0,46
МММ 8 %		651	1627,6	52,08	52,08	–	279,9	0,43

Примечание. Ш – шлак, П – песок, МММ – минеральное машинное масло, ЦГ – цеолитсодержащая глина, А – щелочной активатор NaOH+Na₂SiO₃ (1:1,7)

Известно, что стойкость ШЩБ на основе растворов Na₂CO₃, Na₂O·SiO₂, Na₂O₂·SiO₂ при хранении в нефтяных средах превышает стойкость ШЩБ на основе NaOH, что объясняется повышенной капиллярной пористостью и процессами перекристаллизации новообразований ШЩБ на растворе NaOH и повышенным содержанием Na₂O в составе межпоровой жидкости [7].

Результаты испытаний стойкости шлаковых вяжущих на различных щелочных компонентах хорошо согласуются с научными выводами В.Д. Глуховского [2, 3], согласно которым кинетика процессов гидратации и фазовый состав продуктов твердения, обуславливающий структуру материала, определяются природой щелочного компонента.

Для исследований изготавливались ШЩБ контрольного состава (без добавок) и бетоны, модифицированные отработанным минеральным машинным маслом и цеолитсодержащей глиной. Параллельно испытывали бетоны, изготовленные на основе Вольского портландцемента марки 400 Д0. Составы исследуемых бетонов представлены в табл. 4.

Образцы ШЩБ производились по литьевой технологии. Формование осуществлялось на виброплощадке ВС-1 с частотой 3000 кол./мин, амплитудой 0,35 мм.

Время уплотнения составляло 2 минуты. Образцы ШЩБ подвергались тепловлажностной обработке по режиму 3+6+3 часа, с предварительной выдержкой 4 часа. Пропаривание изделий проводилось в лабораторной камере с автоматическим регулятором режима ТВО, при котором температура изотермической выдержки составляла 85–90 °С.

Прочность на растяжение при изгибе ШЩБ после 270 суток хранения в коррозионно-активных органических средах (дизельное топливо, минеральное масло), содержащих высокомолекулярные кислоты, возрастает по сравнению с начальным значением (рис. 1, 2, 3). Однако рост прочности ШЩБ в данных средах происходит в меньшей степени, чем в пресной воде.

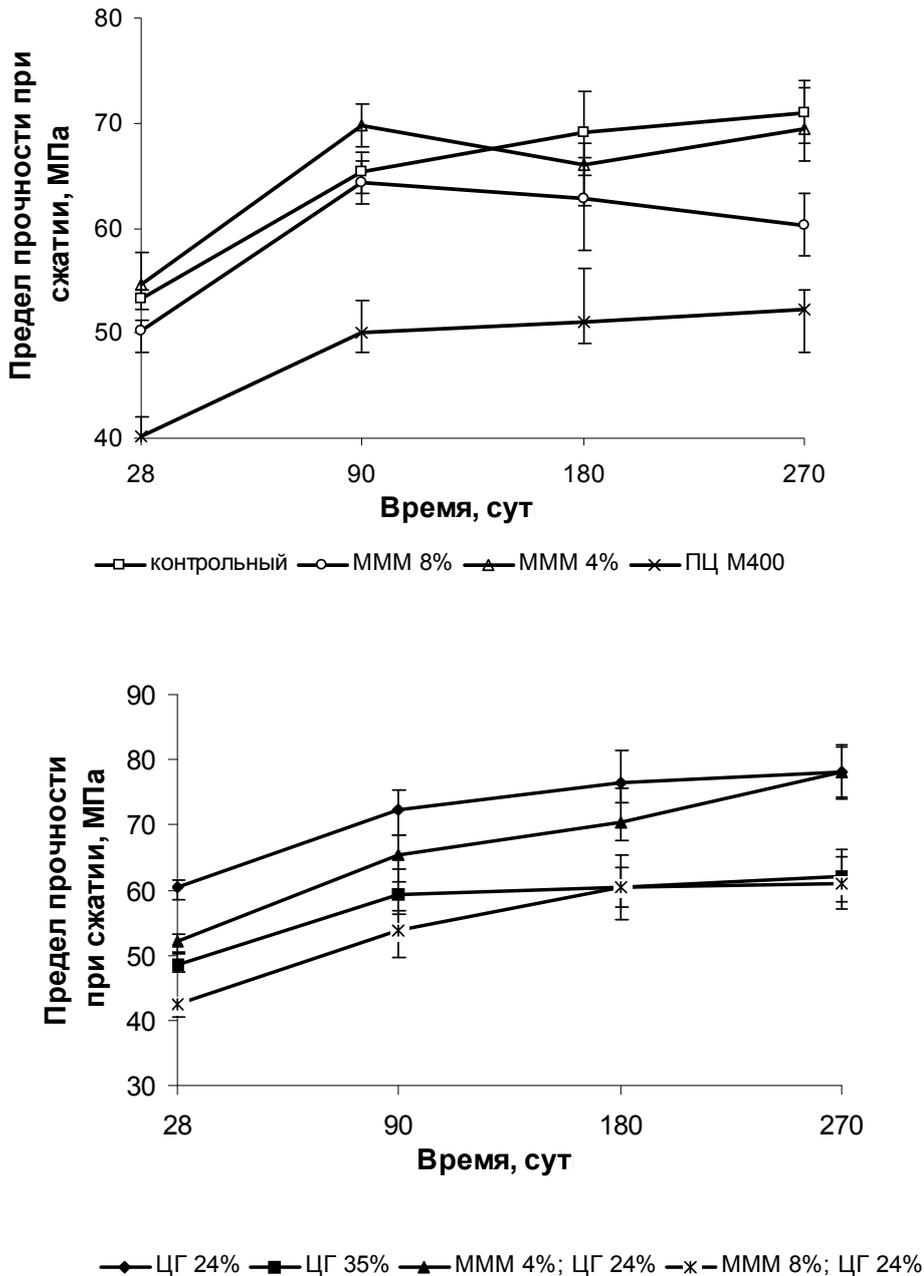


Рис. 1. Кинетика набора прочности при одноосном сжатии модифицированных ШЩБ, хранившихся в водной среде

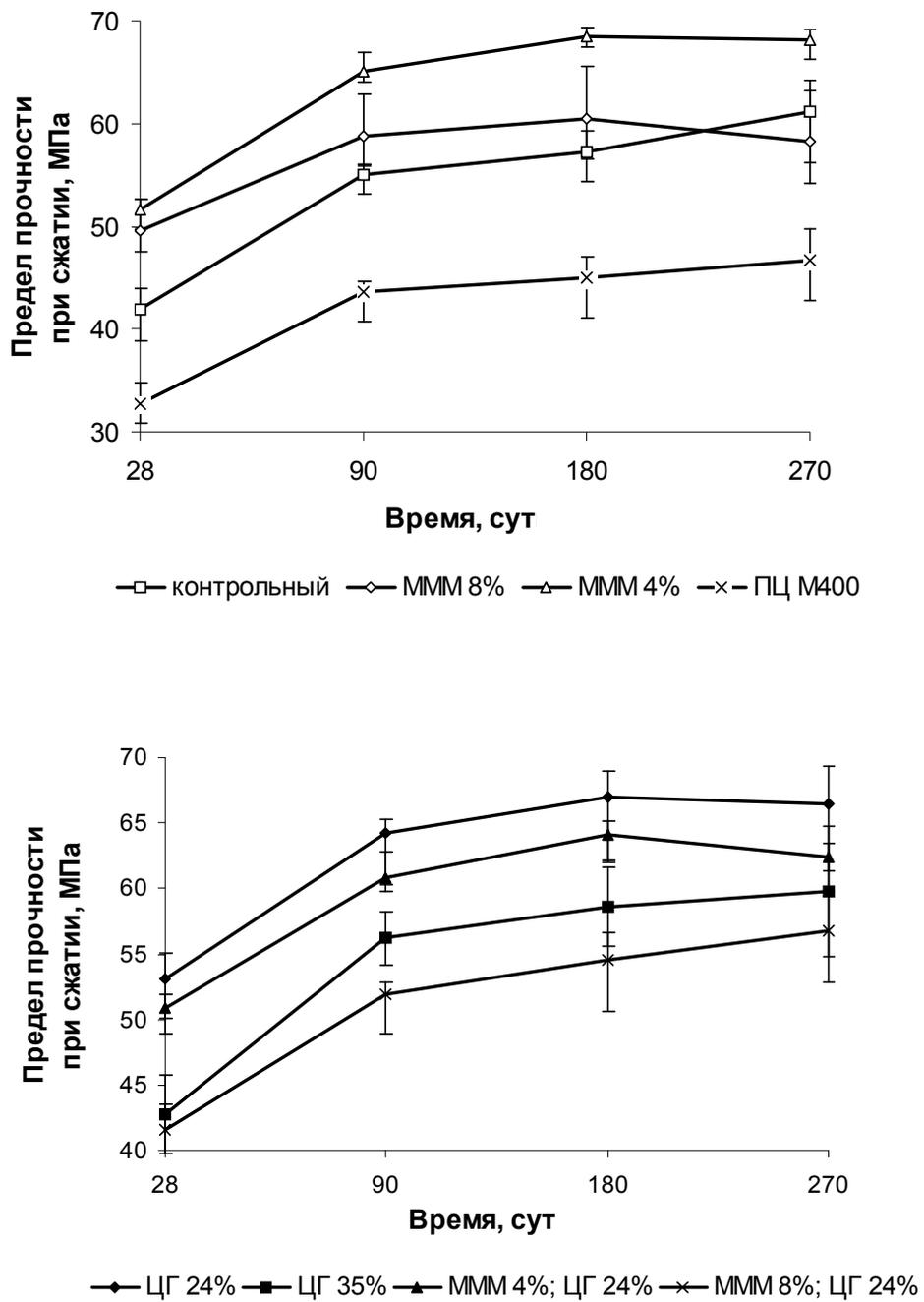


Рис.2. Кинетика набора прочности при одноосном сжатии модифицированных ШЩБ, хранившихся в минеральном машинном масле

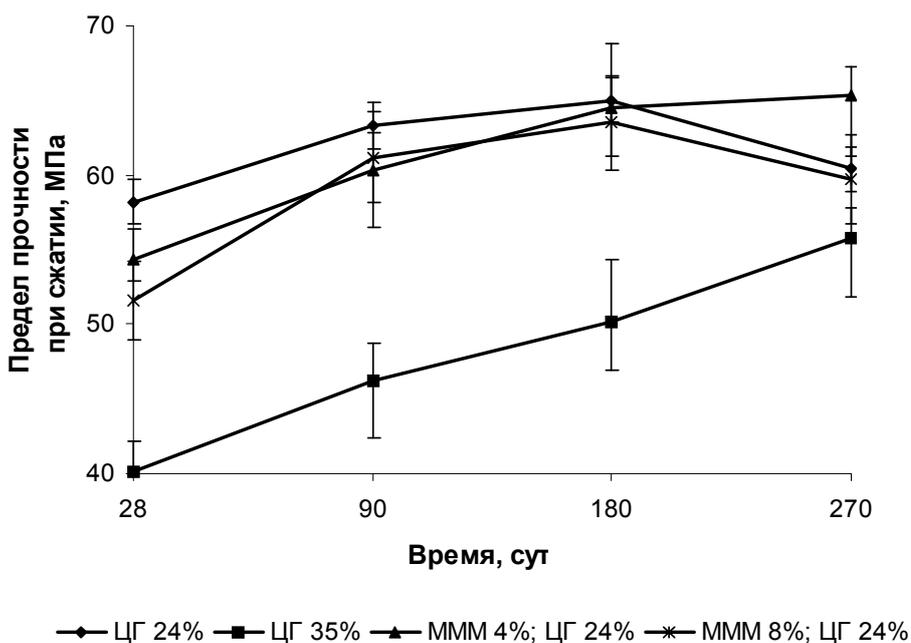
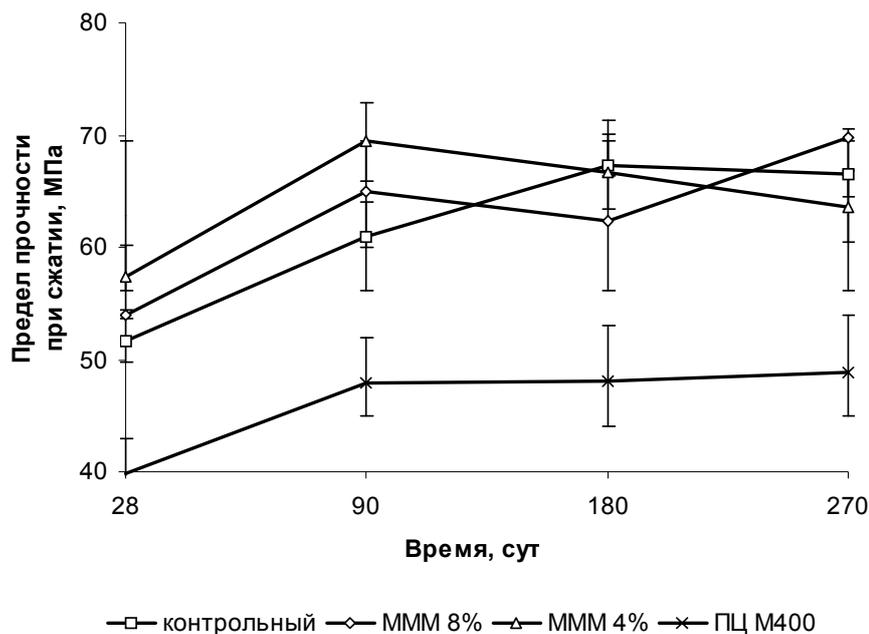


Рис.3. Кинетика набора прочности при одноосном сжатии модифицированных ШЩБ, хранившихся в дизельном топливе

Коррозионная стойкость ШЩБ, модифицированных органоминеральными добавками, выше стойкости бетонов на основе портландцемента, что можно объяснить повышенной капиллярной пористостью цементного бетона и процессами новообразования.

Рентгенофазовыми исследованиями гидратированного ШЩБ установлено, что после 270 суток хранения образцов бетона в минеральном масле интенсивность дифракционных максимумов увеличилась по сравнению с результатами, полученными до погружения.

Дериватографические исследования показали, что площадь экзотермического эффекта на кривой ДТГ и ТГ в интервале температур 820–852 °С уменьшилась; это

указывает на удаление из низкоосновных гидросиликатов кристаллизационной воды. В интервале температур 900–920 °С площадь эндотермического эффекта не уменьшается, разложение кальцита в составе продуктов гидратации ШЩВ не происходит.

При введении органоминеральных модификаторов в состав ШЩВ изменяются пористость, а также коррозионная стойкость бетонов на его основе. Коэффициент стойкости образцов ШЩВ контрольного состава (без добавок) в возрасте 270 суток, хранившихся в МММ, изменяется в интервале 0,86–0,98, а образцов с добавкой цеолитсодержащей породы и отработанного МММ – в интервале 0,88–1,17. Стойкость образцов, изготовленных на основе портландцемента, при тех же условиях хранения изменяется в пределах от 0,65 до 0,75.

Коррозионная стойкость бетона на ШЩВ при хранении в 10 %-м растворе сахара выше, чем стойкость образцов на основе портландцемента. Коэффициент стойкости модифицированного ШЩВ изменяется в интервале 0,90–1,09, а у образцов на основе портландцемента составляет 0,68–0,76. Объяснить это можно низким содержанием гидролизной извести в составе ШЩВ и отсутствием высокоосновных новообразований.

Взаимодействие 10 %-го раствора сахара с портландцементом вызывает образование сахаратов кальция, которые увеличиваются в объеме и приводят к разрушению материала. В процессе гидратации ШЩВ с органоминеральными добавками происходит заполнение гелевых пор низкоосновными продуктами твердения.

Цеолитсодержащий модификатор адсорбирует на своей поверхности щелочной раствор и воду, тем самым уменьшая эффективный диаметр пор, что вызывает уплотнение структуры бетона. Цеолит снижает в материале деформации и напряжения, а высокая дисперсность частиц позволяет участвовать в организации микроструктуры связующего. На первых этапах твердения ШЩВ цеолиты выступают в роли центров кристаллизации, активирующих образование новой фазы из пересыщенных растворов. Кроме того, при модификации ШЩВ цеолитсодержащей породой помимо адгезионного сцепления происходит химическое взаимодействие шлака с цеолитом и глиной. Присутствие тонкодисперсной глины, являющейся алюмосодержащей составляющей, позволяет связать излишнюю щелочь, не участвующую в процессе гидратации шлакового стекла. Установлено, что модификация ШЩВ отработанным машинным маслом и цеолитсодержащей глиной не снижает прочностные показатели при длительном воздействии агрессивных сред.

Отработанное машинное масло используется в качестве «прививочного материала», вводимого на стадии приготовления ШЩВ. Так называемая «техническая вакцинация» ШЩВ способствует созданию механизма «адаптации» к агрессивным внешним воздействиям и организации порового пространства.

Распределение масла по поровой структуре образца и по поверхности раздела фаз «воздух – твердое вещество» способствует гидрофобизации пор, препятствующей испарению жидкости с поверхности камня. В то же время под воздействием щелочной среды машинное масло частично переходит в состояние, близкое к асидам. Исследования показали, что образцы ШЩВ, модифицированные отработанным минеральным машинным маслом, практически не впитывают бензин, масла и раствор сахара. Это способствует повышению долговечности, коррозионной стойкости бетонных изделий на основе ШЩВ.

Понижение основности новообразований в образцах ШЩВ, хранившихся в 10 %-м растворе сахара, подтверждается смещением экзопика при 820–850 °С в область низких температур. Этот факт подтверждает образование продуктов, приводящих к разрушению бетонов на портландцементе. На это также указывает большая площадь зоны раздвоения экзопика при температуре 300–400 °С по сравнению с ШЩВ.

После 270-суточного хранения ШЩВ в минеральном масле и 10 %-м растворе сахара термографическим анализом установлено содержание гидратной воды, что свидетельствует о продолжении гидратации. В бетонах на основе портландцемента при их хранении в минеральном масле и 10 %-м растворе сахара содержание гидратной воды не меняется.

Рентгенографическими исследованиями образцов на основе портландцемента установлено снижение интенсивности основных линий гидросиликатов кальция ($d/n=0,3017; 0,3325; 0,275; 0,27$).

Увеличение линий низкоосновных гидросиликатов кальция группы CSH(B) ($d/n=0,423; 0,3037; 0,3326; 0,1817$) и кальцита ($d/n=0,3037; 0,246; 0,227; 0,205; 0,197$) свидетельствует о содержании кристаллической фазы у образцов ШЩВ, хранившихся в 10 %-м растворе сахара.

Методика проведения исследований бетонов на основе электротермофосфорных шлаков (ЭТФ) в органических средах идентична методике, принятой при испытаниях бетонов, приготовленных на основе Новолипецкого шлака. Такой подход позволяет сравнить влияние вида шлака и способа получения бетонов на их физико-механические свойства.

Коррозионная стойкость бетонов на основе ЭТФ повышается за счет введения модифицирующих добавок цеолитсодержащей породы. Коэффициент стойкости изменяется в пределах от 0,95 до 1,3. Особенно это относится к хранившимся в 10 %-м растворе сахара образцам бетона, при испытаниях которого коэффициент стойкости варьировался в пределах от 0,98 до 1,3. В то же время коэффициент стойкости бетонов на портландцементе составляет 0,68–0,76.

Изучение фазового состава продуктов гидратации ШЩВ на основе Новолипецкого шлака после 270-суточного хранения в агрессивных органических средах не выявило изменений в структуре бетона. Продуктами твердения являются тобермориты ($C_5S_6H_5$) 1,13 нм ($d/n=0,356; 0,328; 0,303; 0,298; 0,281; 0,182$ нм).

Процессы, протекающие в образцах, изготовленных на основе Новолипецкого и ЭТФ шлака, схожи. Однако наличие в ЭТФ шлаке P_2O_5 способствует формированию более мелких новообразований, что подтверждается рентгенофазовым анализом.

Испытания ШЩВ через 90 суток хранения в нефтяных средах показали, что поверхность излома как модифицированных образцов, так и бездобавочных (контрольных) и цементных полностью пропитана. Это свидетельствует о высокой проникающей способности нефтяных сред через капиллярно-пористые материалы. Снижения прочности в нефтяных средах не происходит, так как в данных средах не содержатся поверхностно-активные вещества, способствующие замедлению процессов гидратации. При твердении образующиеся новообразования не вызывают концентрации напряжений за счет увеличения их в объеме.

Коррозионная стойкость ШЩВ на основе щелочного комплекса $NaOH+Na_2SiO_3 \cdot nH_2O$ в 10 %-м растворе сахара выше, чем у цементных бетонов. Это объясняется отсутствием в составе ШЩВ $Ca(OH)_2$ в несвязанном виде, а также отсутствием в составе новообразований высокоосновных гидросиликатов кальция. В результате проникновения сахара в портландцементе образуются сахараты кальция, кристаллы ацетата алюминия и железа, увеличивающиеся в объеме и приводящие к разрушению материала.

В ы в о д ы .

1. Установлено, что модифицированные ШЩВ на основе ЭТФ шлака и доменного шлака Новолипецкого металлургического комбината характеризуются высокой коррозионной стойкостью в органических агрессивных средах (бензин, дизельное топливо, минеральное масло, 5–10 % раствор сахара).

2. Коэффициент стойкости модифицированных ШЩВ составляет 0,86–1,30, что на 15–40 % превышает коррозионную стойкость бетонов на портландцементе.

3. Оптимальная дозировка модификаторов структуры шлакощелочных бетонов составляет: цеолитсодержащей глины 20–35 %, минерального масла 4–8 % от массы шлака. Введение цеолитсодержащей породы в состав ШЩВ способствует образованию в продуктах новообразований соединения типа $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$.

4. Стойкость шлакощелочного камня с модифицирующей добавкой цеолитсодержащей глины в минеральном машинном масле объясняется формированием более плотной структуры бетона, низкой пористостью и образованием продуктов гидратации, стойких к воздействиям агрессивных сред.

5. В составе продуктов гидратации модифицированного шлакощелочного вяжущего рентгенофазовым анализом обнаружены малорастворимые тоберморитовые группы, гидросиликаты кальция и щелочные гидроалюминаты кальция.

Список литературы

1. А.с. 1675252 СССР, МКИ ⁵С 04 В 7/153. Вяжущее / В.В. Шнайдер, А.А. Камшибаев, А.Л. Самойлович (СССР) // Открытия. Изобретения. – 1991. – №33. – С.85.
2. Глуховский, В.Д. Бетоны на шлакощелочных вяжущих / В.Д. Глуховский // Бетон и железобетон. – 1975. – №3. – С.12–13.
3. Глуховский, В.Д. Шлакощелочные цементы и бетоны / В.Д. Глуховский, В.А. Пашков. – Киев: Будивельник, 1978. – С.23–34, 60–77, 110–126, 184, 232.
4. Кривенко, П.В. Щелочно-реакционные заполнители в щелочных бетонах / Кривенко П.В., Петропавловский, А.Г. Гелевера, Ю.В. Федоренко // Сучасні будівельні матеріали. – 2010. – Вип. 1(81).
5. Кривенко, П.В. Эффективные пути совершенствования свойств шлакощелочного бетона / П.В. Кривенко, Ж.В. Скурчинская // Цемент. – 1990. – №6. – С.17–19.
6. Романенко, И.И. Модификация шлакощелочного вяжущего цеолитсодержащей породой / И.И. Романенко, С.В. Михайлина, Е.А. Белякова // Актуальные проблемы современного строительства: сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2005. – С.212–213.
7. Stark, J. Alkali-Kieselsaeuri-Reaktion, Bauhaus-Universitaet, Weimar Deutschland, 2008.

References

1. A.s. 1675252 USSR. MCI ⁵S 04 V 7/153. Binder / V.V. Schneider, A. Kamshibaev, A.L. Samoilovich (USSR) // Discoveries. Invention. – 1991. – № 33. – P.85.
2. Glukhovsky, V.D. Concrete on shlakoschelochnyh binders / V.D. Glukhovsky // Concrete and reinforced concrete. 1975. – № 3. – P.12-13.
3. Glukhovsky, V.D. Shlakoschelochnye cements and concretes / V.D. Glukhovsky, V.A. Pashkov. – Kiev: Budivelnik, 1978. – P.23-34, 60-77, 110-126, 184, 232.
4. Krivenko, P.V. Alkali-reactive aggregates in alkaline concrete / P.V. Krivenko, Petropavlovskiy, A.G. Gelevera, Y. Fedorenko // Suchasni budivelni materiali. – 2010. – Vipusk 1 (81).
5. Krivenko, P.V. Effective ways to improve the properties of concrete shlakoschelochnogo / P.V. Krivenko, J.V. Skurchinskaya // Cement. – 1990. – № 6. – P.17–19.
6. Romanenko, I.I. Modification shlakoschelochnogo binder zeolite-containing rocks / I.I., Romanenko, S.V. Mikhailin, E.A. Belyakov // Actual problems of modern construction. Sat Scientific Proc. scientific and engineering. Conf. – Penza, 2005. – P.212–213.
7. Stark, J. Alkali-Kieselsaeuri-Reaktion, Bauhaus-Universitaet, Weimar Deutschland, 2008.

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

Симонов Евгений Евгеньевич,
аспирант кафедры «Стандартизация,
сертификация и аудит качества»
E-mail: simonov888@list.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 Sciences, Professor, Head of the
department «Standardization, certification and
quality audit»
E-mail: loganin@mai.ru

Simonov Evgeny Evgenyevich,
Postgraduate of the department
«Standardization, Certification and Quality
Auditing»
E-mail: simonov888@list.ru

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИАТОМИТА

В.И. Логанина, Е.Е. Симонов

Приведены сведения о результатах расчета тепловлажностного состояния стен зданий при наличии теплоизоляционного отделочного слоя на основе разработанной сухой строительной смеси с применением диатомита.

Ключевые слова: диатомит, сухие строительные смеси, теплоизоляция, тепловой и влажностный режим стены, положение нулевой изотермы.

HEAT INSULATING DRY MORTARS WITH DIATOMITE

V.I. Loganina, E.E. Simonov

Calculation results of heat and humidity condition of buildings walls having insulating finishing layer made on the basis of dry mortars with diatomite are given.

Keywords: diatomaceous earth, dry mortar, thermal insulation, thermal and moisture conditions wall position the zero isotherm.

Россия обладает крупной сырьевой базой диатомитов (разведанные запасы их оцениваются объемами до 1 млрд. тонн или порядка 20 % мировых запасов), но отстает от других стран, активно добывающих и перерабатывающих диатомит: добыча и переработка диатомита в США в 2004 году составила 635 тыс. т (32 % мировой добычи), в Китае 370 тыс. т (19 %), в странах Европы 378 тыс. т (19 %), в России 70 тыс. т (4 %). При этом 20 % американской продукции из диатомита поставляется на экспорт, в России эта величина составляет менее 10 %.

Кроме того, доля России в мировом производстве продукции из диатомита составляет менее 1 % (к примеру, данные соотношения по США и Китаю: 32 %/35 % и 13 %/27 % соответственно). Примечательно, что такие страны, как Дания и Япония, обладающие меньшими запасами, чем Россия, производят больше продукции из диатомита.

Такое положение привело к тому, что российская экономика, располагая достаточными ресурсами, ежегодно теряет потенциально возможный ВВП, импортируя данную продукцию на суммы свыше 250 млн. долл.

Ценнейшим качеством диатомита как сырья является то, что его химический состав позволяет производить на его основе различные высококачественные материалы для многих отраслей народного хозяйства

Анализ научно-технической литературы свидетельствует, что в последнее время вырос интерес к использованию диатомита как сырья для производства теплоизоляционных строительных материалов, наполнителей для сухих строительных смесей, адсорбентов, фильтров и т.д. Был проведен патентный поиск о применении диатомита как сырья для производства теплоизоляционных материалов. Для систематизации информации о проведенном патентном поиске был составлен динамический ряд патентования в данной области (рис. 1).

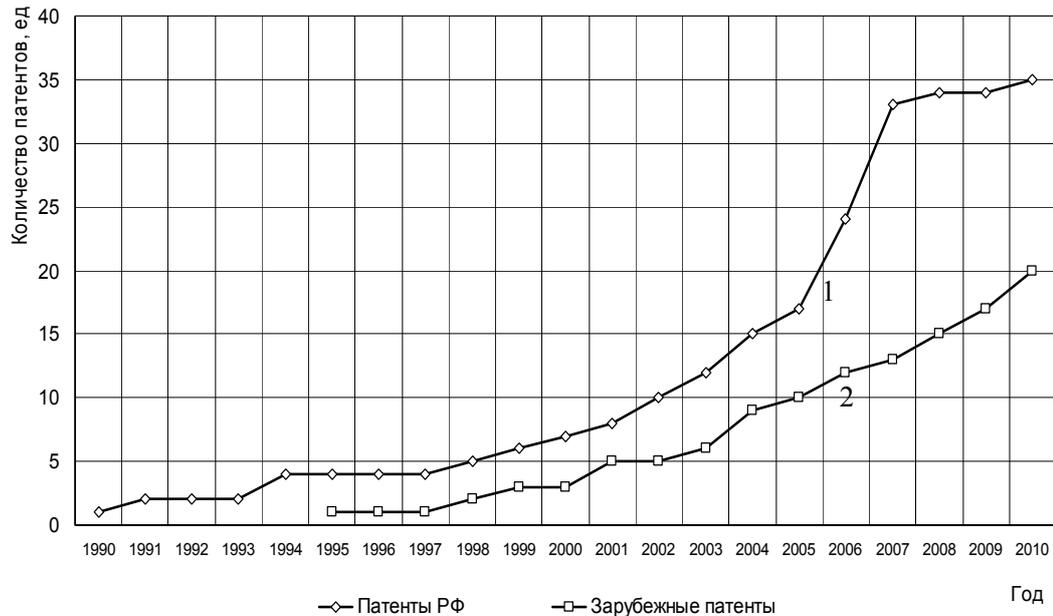


Рис. 1. Кумулятивный динамический ряд патентования

Кривая 1 на рисунке характеризует тенденцию интенсивного развития исследуемого объекта в РФ. Восходящий характер кривой 2 также свидетельствует о наличии интереса к данной проблематике в зарубежных странах.

Диатомит представляет собой пористую кремнистую породу, состоящую из скелетов диатомей размером до 0,5 мм, с диапазоном диаметра пор 10-35 нм. Диатомовые скелеты состоят из ренгеноаморфного опала, обладающего изотропностью и интенсивной микротрещиноватостью, свидетельствующей о его коллоидной природе. Эти свойства диатомитов широко используют при производстве товарного бетона, строительных растворов и сухих строительных смесей различного назначения.

В настоящее время рынок сухих строительных смесей (ССС) является одним из наиболее динамично развивающихся. Учитывая, что в структуре цены СССР себестоимость сырья составляет от 30-40 %, актуальным является разработка рецептуры эффективных СССР с применением местных материалов, в частности диатомита. Учитывая особенности структуры и свойств диатомита (низкая плотность, пористая структура, низкое значение коэффициента теплопроводности), наиболее рациональной областью применения диатомита в номенклатуре СССР является теплоизоляционные СССР. Дополнительное наружное утепление ограждающих конструкций зданий за счет применения теплоизоляционного отделочного слоя является одним из рациональных способов повышения теплозащиты эксплуатируемых зданий.

При взаимодействии диатомита с минеральными вяжущими (цемент, известь) активность минеральных добавок (в нашем случае – диатомита) обусловлена высоким содержанием в них водного кремнезёма. Увеличения активности диатомита можно

достичь, производя специальную активацию, заключающуюся в увеличении содержания аморфного кремнезема [1-3].

В Пензенском государственном университете архитектуры и строительства разработаны составы теплоизоляционных сухих смесей на основе местных материалов, предназначенные для отделки строительных изделий и конструкций. При разработке отделочного состава в качестве наполнителя сухой смеси использовали диатомит, модифицированный золе кремниевой кислоты.

По результатам исследований подобрана рецептура сухой смеси, содержащая известь-пушонку, диатомит, модифицированный золе кремниевой кислоты, сурский кварцевый песок фракций 0,63-0,315 мм и 0,315-0,14 мм, модифицирующие добавки. Результаты проведенных исследований подтвердили эксплуатационную стойкость покрытий на основе известковой ССС с применением диатомита, модифицированного золе кремниевой кислоты.

В табл. 1 приведены показатели свойств покрытий на основе предлагаемой ССС.

Т а б л и ц а 1

Технологические и эксплуатационные свойства отделочного состава

Наименование показателя	Величина показателя
Адгезионная прочность R_a , МПа	0,4...0,8
Жизнеспособность, ч	
– при хранении в открытых ёмкостях	8...10
– при хранении в закрытых ёмкостях	40...48
Время высыхания при 20 °С до степени «5», мин	не более 60
Водоудерживающая способность, %	95-96
Рекомендуемая толщина одного слоя, мм	до 5
Расход отделочного состава при нанесении в 1 слой толщиной 0,5 мм, кг/м ²	0,4...0,6
Расход отделочного состава при нанесении в 1 слой толщиной 10 мм, кг/м ²	0,8...1,2
Удобоукладываемость	хорошая
Наличие трещин вследствие усадки	нет
Морозостойкость, циклы	35
Водостойкость, коэффициент размягчения	0,6
Усадочные деформации, мм/м	0,35

Для оценки влияния штукатурного слоя на основе разработанной ССС на изменение теплового и влажностного режима ограждающих конструкций зданий был выполнен теплотехнический расчет стены, конструктивное решение которой приведено на рис. 2. В качестве наружных климатических параметров для расчетов были выбраны по карте климатического районирования (СНиП 23–01) города, находящиеся в различных климатических условиях и зонах влажности [5]: Москва, Якутск, Пенза.

В качестве теплоизоляционного слоя используются:

– плиты из пеностекла плотностью 260 кг/м³ и коэффициентом теплопроводности 0,098 Вт/(м·°С);

– плиты из пенополистирола плотностью $\rho=100$ кг/м³ и коэффициентом теплопроводности 0,041 Вт/(м·°С);

– плиты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем плотностью $\rho=60$ кг/м³ и коэффициентом теплопроводности 0,06Вт/(м·°С).

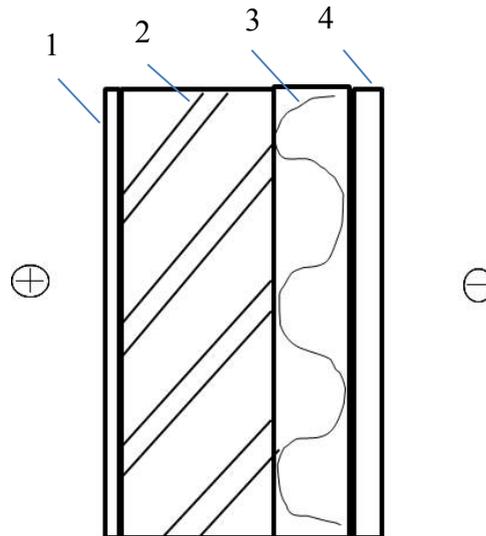


Рис. 2. Конструктивное решение стены:

- 1 – кирпичная кладка из сплошного кирпича силикатного (ГОСТ 379) на цементно-песчаном растворе, $\rho=1800\text{кг/м}^3$; 2 – утеплитель;
3 – многослойная штукатурка; 4 – штукатурка

При расчетах рассматривалось три варианта отделки:

1 – внутренняя и наружная поверхности конструкции стены отделаны цементно-песчаным раствором плотностью $\rho=1800\text{ кг/м}^3$;

2 – внутренняя поверхность конструкции отделана цементно-песчаным раствором плотностью $\rho=1800\text{ кг/м}^3$, наружная поверхность конструкции стены отделана штукатуркой на основе известково-диатомитового состава плотностью 840 кг/м^3 ;

3 – внутренняя и наружная поверхности конструкции отделаны штукатуркой на основе известково-диатомитового состава плотностью 840 кг/м^3 .

При расчетах влажностного режима стеновой конструкции за наружную температуру воздуха принимали среднемесячную температуру января, а также температуру наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92.

Результаты выполненных расчетов показывают, что для условий, например, г. Пензы для всех видов утеплителей и при оштукатуривании внешней и внутренней поверхности стены цементно-песчаным раствором плотностью $\rho=1800\text{ кг/м}^3$ возможна конденсация влаги в толще утеплителя. При применении предлагаемой известково-диатомитовой штукатурки конденсация влаги отсутствует. Установлено, что при применении в качестве штукатурки разработанного известково-диатомитового состава наблюдается смещение нулевой изотермы в сторону пониженных температур [6]. В табл. 2 приведены значения границы нулевой изотермы в теплоизоляционном слое для условий г. Пензы по данным наиболее холодной пятидневки и с учетом среднемесячной температуры января.

Таблица 2

Положение нулевой изотермы в сечении конструкции для условий г. Пензы

Варианты отделки	Расстояние от границы утеплителя до нулевой изотермы, м	
	По данным наиболее холодной пятидневки	
Утеплитель – плиты из пенополистирола		
1	0,012	0,042
2	0,015	0,045
3	0,016	0,049
Утеплитель – плиты из пеностеклокерамики		
1	0,060	0,118
2	0,061	0,125
3	0,065	0,127

Установлено, что при отделке конструкции с внешней и внутренней стороны штукатуркой на основе разработанного известково-диатомитового состава наблюдается смещение нулевой изотермы на 4-7 мм (утеплитель – плиты из пенополистирола) и 5-9 мм (утеплитель – плиты из пеностекла) в сторону пониженных температур по сравнению с применением штукатурки на основе цементно-песчаного раствора.

Смещение нулевой изотермы при применении предлагаемого известково-диатомитового состава свидетельствует о том, что высыхание конструкции будет идти интенсивнее.

Предлагаемая ССС прошла опытно-промышленное опробование в г. Пензе в ООО «Факел Плюс». Разработан проект нормативного документа, регламентирующего основные свойства покрытий на основе ССС.

Список литературы

1. Логанина, В.И. Структурообразование известковых композитов на основе модифицированного диатомита / В.И. Логанина, О.А. Давыдова, Е.Е. Симонов // Приволжский научный журнал. – 2012. – №2. – С.68–72.
2. Логанина, В.И. Исследование закономерностей влияния золя кремниевой кислоты на структуру и свойства диатомита / В.И. Логанина, О.А. Давыдова, Е.Е. Симонов // Строительные материалы. – 2011. – №12 – С.63–66.
3. Логанина, В.И. Влияние активации диатомита на свойства известковых композиций / В.И. Логанина, О.А. Давыдова, Е.Е. Симонов // Известия вузов. Строительство. – 2011. – № 3. – С.20–24.
4. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу. – М.: Госстрой России, 2000 – С.57.
5. Логанина, В.И. Эффективность применения известково-диатомитовой декоративной штукатурки для отделки ограждающих конструкций / В.И. Логанина, О.В. Карпова, Е.Е. Симонов // Известия вузов. Строительство. – 2012 – №5. – С.44–47.

References

1. Loganina, V.I. Structure formation of lime-based composites modified diatomite / V.I. Loganina, O.A. Davydov, E.E. Simonov // Volga scientific journal. – 2012. – № 2. – P.68–72.
2. Loganina, V.I. The study of the influence of silica sol on structure and properties of diatomite / V.I. Loganina, O.A. Davydov, E. E. Simonov // Building Materials. – 2011. – № 12 – P.63–66.
3. Loganina, V.I. Effect of activation on the properties of calcareous diatomite compositions / V.I. Loganina, O.A. Davydov, E.E. Simonov // Proceedings of the universities. Construction. – 2011. – № 3 – P.20–24.
4. Br 01.23.99 Building Climatology. Russian Federation State Committee for Construction, Housing and Utilities. – M.: Gosstroy Russia, 2000 – P.57.
5. Loganina V.I. The effectiveness of lime-plaster diatomite finishing walling / V.I. Loganina, O.V. Karpova, E.E. Simonov // Trans. Construction. – 2012. – № 5. – P.44–47.

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

Мальцев Алексей Викторович,
аспирант кафедры «Городское
строительство и архитектура»
E-mail: Malstev88@mail.ru

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

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

Дерина Мария Александровна,
аспирант кафедры «Городское
строительство и архитектура»
E-mail: gsia @ 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

Maltsev Alecsei Victorovitch,
Postgraduate of the department «Urban
construction and Architecture»
E-mail: Malstev88@mail.ru

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

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

Derina Marya Alecsandrovna,
Postgraduate of the department «Urban
construction and Architecture»
E-mail: gsia @ pguas.ru;

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ В СТАДИИ УВЛАЖНЕНИЯ И ПРОМЕРЗАНИЯ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ

А.В. Мальцев, А.М. Береговой, В.А. Береговой, М. А. Дерина

На основе предложенного способа расчета теплопроводности увлажненного и частично промерзшего материала наружного ограждения проведено сравнение коэффициентов теплопроводности, определенных экспериментально и по расчетной модели, для некоторых материалов, широко распространенных в практике строительства гражданских зданий.

Ключевые слова: влажность материала, промерзание ограждения, коэффициент теплопроводности, стационарная теплопередача, теплопотери через конструкцию.

THE INFLUENCE OF HEAT CONDUCTIVITY OF EXTERNAL ENCLOSURE STRUCTURES IN THE STAGE OF HUMIDIFICATION AND FREEZING ON THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS

A. V. Maltsev, A.M. Beregovoy, V.A. Beregovoy, M.A. Derina

A comparison of the calculated and experimentally obtained coefficients of heat conductivity for some widely used building materials is made on the offered method of calculation heat conductivity of humidified and partly freezed materials of external enclosure structures.

Keywords: humidity of material, freezing of enclosure structure, heat conductivity, steady-state heat transfer, heat loss through enclosure structure.

В строительных нормах и правилах по теплотехническому проектированию наружных ограждающих конструкций теплопроводность материала определяют по условиям эксплуатации А или Б [1], которые устанавливаются раз и навсегда на весь длительный период эксплуатации здания и практически не оценивают теплопроводность переувлажненного материала, а также ее зависимость от фазовых превращений влаги в его капиллярно-пористой структуре при тепломассопереносе. К переувлажнению материала ограждающих конструкций приводят ошибки на этапах проектирования, строительства и эксплуатации зданий (недостаточный учет климатических факторов

строительства, дефекты по устройству системы наружного водоотвода с крыш, пароизоляционного слоя в наружных ограждающих конструкциях, нарушение сроков ремонта элементов и конструктивных слоев, влияющих на влажностное состояние наружных ограждений, и др.).

С наступлением периода низких температур наружный слой увлажненных конструкций ограждений подвергается промерзанию на определенную толщину δ_3 , которая меняется во времени. Процессы теплообмена в таких конструкциях связаны с фазовыми превращениями влаги – льдообразованием, таянием, испарением, конденсацией. Это вызывает заметные изменения теплофизических показателей материалов, теплового баланса в ограждении, постепенное снижение прочностных характеристик конструкции.

В ограждающих конструкциях, утепленных снаружи, слой теплоизоляции позволяет удерживать основной массив стены в зоне положительных температур. Однако в однослойных однородных ограждениях влага, содержащаяся в капиллярах и порах материала, может подвергаться замерзанию при достаточно длительном воздействии низких температур до границы, где линия падения температуры по толщине конструкции опускается ниже нуля.

В процессе теплопереноса в однослойном наружном ограждении при отрицательной температуре и при отсутствии фильтрационного движения потенциалом переноса пара является градиент температуры ∇t , а влаги – градиент влагосодержания $\nabla u_{ж}$, что справедливо при любых температурах тела [2]:

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \text{div}(a_m \cdot \nabla u_{ж} + a_m \cdot \delta \cdot \nabla t), \quad (1)$$

где a_m – коэффициент потенциалопроводности суммарного переноса пара и жидкости; δ – суммарный термоградиентный коэффициент,

$$\delta = \frac{(a_{мп} \cdot \delta_{п} + a_{мж} \cdot \delta_{ж})}{a_m}.$$

Когда вся вода в наружном слое ограждения превращается в лед, то

$$\frac{\partial u_{п}}{\partial z} = \text{div}(a_{мп} \cdot \delta_{п} \cdot \nabla t), \quad (2)$$

где $a_{мп}$ – коэффициент потенциалопроводности переноса пара; $\delta_{п}$ – термоградиентный коэффициент переноса пара.

Определение теплопроводности для решения практических задач с учетом фазовых превращений влаги и скорости их прохождения по толщине наружного ограждения в реальных (нестационарных) условиях эксплуатации с использованием уравнений (1), (2) представляет известные математические трудности. Рассмотрим более простую модель, которая учитывает только промерзание увлажненного материала и позволяет оценить изменение его коэффициента теплопроводности. При этом примем следующие допущения:

1. С наступлением долговременного периода сильного похолодания температура на наружной поверхности ограждения понизилась до постоянной отрицательной величины $t_n = -25$ °С.

2. В толще ограждения на подвижной границе промерзания сохраняется температура начала промерзания влаги t_3 .

3. В мерзлой и во влажной зонах ограждения температура изменяется по линейному закону.

В соответствии с уравнением теплового баланса, по В.Н. Богословскому, на границе промерзания конструкции, в капиллярах и порах материала выделяется тепло льдообразования:

$$r \cdot i \cdot u_{ж} \cdot \gamma_0 \cdot \frac{d\delta_3}{dz} = \lambda_3 \cdot \frac{\partial t_3}{\partial x} - \lambda_b \cdot \frac{\partial t_b}{\partial x}, \quad (3)$$

где λ_3 , λ_b , t_3 , t_b – соответственно коэффициенты теплопроводности материала и его температура в мерзлой и влажной зонах наружного ограждения; $u_{ж}$ – влажность материала; i – доля замерзающей влаги; γ_0 – плотность материала в сухом состоянии.

Для продолжительного и медленного характера изменения низких температур скорость продвижения границы промерзания $\frac{\partial \delta_3}{\partial z} \rightarrow 0$, а величина r пренебрежительно мала. Тогда уравнение (3) теплового баланса на границе мерзлой и влажной зон можно представить исходя из условий стационарной теплопередачи [3]:

$$\lambda_3 \cdot \frac{t_3 - t_n}{\delta_3} - \lambda_b \cdot \frac{t_b - t_3}{\delta - \delta_3} = 0, \quad (4)$$

где t_3 – температура начала замерзания влаги, °С; δ_3 – глубина промерзшей зоны ограждения, м.

Из уравнения (4) коэффициент теплопроводности материала в зоне промерзания конструкции для однослойной однородной конструкции ограждения составит величину:

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_b (t_b - t_3) \cdot \delta_3}{(t_3 - t_n) \cdot (\delta - \delta_3)}. \quad (5)$$

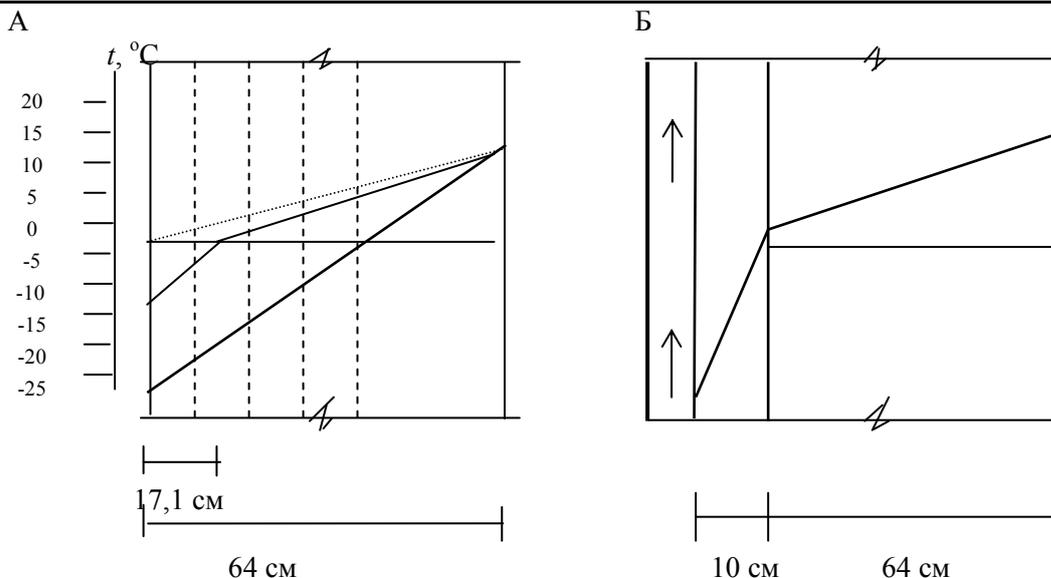
Значение коэффициента теплопроводности материала влажной зоны λ_b в уравнении (5) может быть найдено по известной зависимости:

$$\lambda_b = \lambda_c \left(1 + \omega_0 \cdot \frac{\delta_\omega}{100} \right), \quad (6)$$

где λ_c – коэффициент теплопроводности сухого материала; ω_0 – влажность материала, % по объему; δ_ω – прирост коэффициента теплопроводности на 1 % объемной влажности материала. Величина δ_ω зависит от вида капиллярно-пористого материала, его плотности и трудно поддается систематизации для получения общей зависимости теплопроводности материала от его влажности. Поэтому более точное значение коэффициента λ_b материала ограждений было принято по результатам экспериментальных исследований зависимости $\lambda_b = f(\omega_0)$, выполненных А.У. Франчуком в НИИ строительной физики. В этих исследованиях экспериментально измерялась теплопроводность материала для трех влажностных состояний, которые характерны для долговременной эксплуатации наружных ограждений зданий: стабильное состояние сорбционной влажности, предельно допустимое ее значение $\omega_{пр}^{сorb}$ за счет увеличения сорбционной влажности к концу отопительного периода, сверхсорбционная влажность материала при воздействии капельно-жидкой влаги.

Как известно, в конструкциях наружных ограждений с капиллярно-пористой структурой материала температура начала замерзания основной массы свободной влаги колеблется в диапазоне $-1 \dots -3^\circ\text{C}$. В рассматриваемой модели принята максимально возможная величина δ_3 , достигающая границы нулевого значения температуры на линии ее распределения по толщине конструкции. Толщина зоны промерзания δ_3 находилась графоаналитическим способом при стационарных условиях теплопередачи для ограждений, выполненных из шлакобетона, пенобетона, пеносиликальцита, керамзитобетона.

На рисунке А в качестве примера показано распределение температуры в конструкции однослойного ограждения из сплошного кирпича плотностью 1700 кг/м^3 при температурах внутреннего и наружного воздуха $+20$ и -29°C соответственно. Зона промерзания материала, равная 37 см, на рисунке заштрихована. Однако при значении t_n , равном -10°C , величина δ_3 уменьшается до 17 см. Рисунок Б иллюстрирует многослойную конструкцию с основным слоем из той же кладки, наружным слоем утеплителя из пенополистирола толщиной 10 см и сайдингом с вентилируемой воздушной прослойкой. В этой конструкции создаются условия, предотвращающие образование сверхсорбционного увлажнения и промерзания структуры материала. Поэтому для ограждений данного типа рассматриваемая расчетная модель не действует.



Распределение температуры по толщине наружного ограждения:

А – однослойного из сплошного кирпича с наличием зон промерзания материала;

Б – многослойного с наружным слоем утеплителя и вентилируемой воздушной прослойкой

Расчетные значения коэффициента теплопроводности материалов λ_3 в зоне отрицательных температур конструкции найдены по формуле (5).

В качестве исходных расчетных данных приняты следующие:

- температура внутреннего воздуха $t_{в} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей ограждения 8,7 и 23 Вт/($\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$) соответственно;
- построение линии падения температуры по толщине конструкции выполнено с учетом нормативных требований к сопротивлению теплопередаче, исходя из санитарно-гигиенических условий;
- стены из пеносиликальцита имеют штукатурку толщиной 20 мм только с внутренней стороны, а остальные стены – с обеих сторон.

В таблице показаны величины λ_3 для этих материалов, которые отличаются повышенной плотностью и имеют объемную влажность 10 и 15 %.

Согласно данным таблицы, для некоторых материалов с определенной влажностью и в зависимости от плотности расчетные значения показателя λ_3 показывают хорошую сходимость с экспериментально полученными значениями коэффициента теплопроводности $\lambda_3^{\text{эк}}$ (разница в значениях для пенобетона с влажностью 10 % составляет 0,5 %, для шлакобетона плотностью 1600 кг/м³ и с влажностью 15% – 1,3 %, для керамзитобетона плотностью 1600 кг/м³ с влажностью 20 % и 25 % расхождение увеличивается до 2,1 % и 2 % соответственно). Несовпадение этих показателей в других случаях несколько больше и находится в пределах 4...8 %.

В графе 7 таблицы приведены нормативные значения коэффициента теплопроводности λ рассмотренных материалов для так называемых влажных условий эксплуатации ограждающих конструкций (условия Б). Для этих условий теплопроводность материала заметно превышает значения, рекомендуемые нормами с учетом более сухого режима воздействий внутренней и наружной сред на ограждающие конструкции (условия А). Но даже для влажных условий эксплуатации (графа 7 таблицы) теплопроводность материала существенно ниже значений, полученных для материалов, находящихся в зоне промерзания конструкции (графа 6). Расхождение увеличивается с ростом плотности материала и его влажности, достигая 20 % для пеносиликальцита, 23 % для керамзитобетона и 30 % для пенобетона повышенной плотности.

Расчетные λ_3 и экспериментальные $\lambda_3^{ЭК}$, $\lambda_B^{ЭК}$, Вт/(м·°С), значения коэффициентов теплопроводности материалов, находящихся в зоне положительных и отрицательных температур наружного ограждения

Материал	Плотность, кг/м ³	Влажность, по объем., %	$\lambda_B^{ЭК}$	$\lambda_3^{ЭК}$	λ_3	λ (по нормам для условия Б)
1	2	3	4	5	6	7
Пенобетон	1200	10	0,415	0,605	0,608	0,57 (по интерполяции)
		15	0,459	0,739	0,687	
Шлакобетон	1300	10	0,489	0,663	0,720	0,55
		15	0,526	0,797	0,791	
	1600	10	0,647	0,866	0,940	0,79
		15	0,688	1,000	1,013	
Пеносили-кальцит	1200	10	0,414	0,605	0,633	0,57 (по интерполяции)
		15	0,454	0,733	0,709	
Керамзито-бетон	1400	10	0,479	0,651	0,687	0,65
		15	0,516	0,780	0,753	
	1600	10	0,575	0,756	0,825	0,79
		15	0,609	0,826	0,886	
		20	0,648	0,936	0,956	
	25	0,765	1,047	1,026		

Выполненные исследования теплопроводности капиллярно-пористых материалов в зоне промерзания наружного ограждения позволяют оценить тепловые потери через конструкцию с наступлением периода резкого похолодания. Особенность представленной физико-математической модели состоит в том, что влажную и мерзлую зоны ограждения можно рассматривать как отдельные слои, состоящие из материалов с коэффициентами теплопроводности $\lambda_B^{ЭК}$ и λ_3 соответственно (см. таблицу). Так как тепловой поток через какой-либо слой конструкции находится в прямо пропорциональной зависимости от коэффициента теплопроводности его материала, то очевидно, что и тепловые потери через этот слой и в целом через наружное ограждение в условиях увлажнения и промерзания материала будут выше, чем через конструкцию в условиях эксплуатации, предусмотренных нормами теплотехнического проектирования.

Список литературы

1. СП 23–101–2004. Проектирование тепловой защиты зданий / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 139 с.
2. Лыков, А.В. Теоретические основы строительной теплофизики / А.В. Лыков. – Минск: АН БССР, 1961. – 520 с.
3. Береговой, А.М. Тепловая эффективность наружных ограждений зданий при фазовых превращениях влаги / А.М. Береговой, В.А. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Петрянина // Изв. Вузов. Строительство. – 2011. – №12. – С. 73–79.

References

1. SP 23–101–2004. Designing of thermal performance of the buildings // Gosstroy of Russia. – M.: FGUP SPP. – 2004. – 139 p.
2. Lykov, A.V. Theoretical foundation of building thermophysics / A.V. Lykov. – Minsk: AN BSSR, 1961. – 520 p.
3. Beregovoi, A.M. Thermal Efficiency of the external enclosure Structures under Water undergoing Phase Change / A.M. Beregovoi, V.A. Beregovoi, A.V. Maltsev, M.A. Petryanina // News of higher educational institutions. Construction. – 2011. – 12. – P. 73–79.

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет
Россия, 190005, г. Санкт-Петербург,
ул. 2-я Красноармейская, д. 4
тел.: (812) 575-05-34; факс: (812) 316-58-72

Бирюзова Елена Александровна,
кандидат технических наук, доцент

*St. Petersburg State University of Architecture
and Construction*

Russia, 190005, St. Petersburg,
4, 2nd Krasnoarmeiskay St.
tel.: (812) 575-05-34; fax: (812) 316-58-72

Biryuzova Elena Alexandrovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е.А. Бирюзова

Представлены результаты сравнительного анализа теплотехнических характеристик традиционных теплоизоляционных материалов, применяемых на трубопроводах тепловых сетей, и новейшей сверхтонкой жидко-керамической тепловой изоляции.

Ключевые слова: повышение энергоэффективности тепловых сетей, тепловая изоляция трубопроводов, коэффициент теплопроводности.

IMPROVMENT OF HEAT SUPPLY NETWORKS ENERGY EFFICIENCY USING MODERN INSULATION MATERIALS

Е.А. Biryuzova

Comparative analysis results of thermotechnical characteristics of traditional heatinsulating materials used on heat supply networks and the latest superthin liquid-ceramics heat insulation (LCI) are shown.

Keywords: heat supply networks energy efficiency rise, heat supply insulation of pipelines, the thermal conductivity coefficient.

Введение

Анализ значений технико-экономических показателей действующих систем теплоснабжения свидетельствует об их существенном снижении по сравнению со значениями, предусмотренными проектной документацией. В то же время отмечен рост потерь тепловой энергии при транспортировке теплоносителей. Из-за дефицита финансовых средств для замены тепловых сетей увеличилось количество аварий, что привело к повышенному расходу энергетических ресурсов, снижению надежности и качества теплоснабжения. Поэтому задача повышения энергетической и экономической эффективности функционирования систем теплоснабжения является актуальной.

Необходимость исследования современных теплоизоляционных материалов, применяемых в системах теплоснабжения, от качества и теплотехнических характеристик которых зависят не только тепловые потери, но и долговечность конструкций трубопроводов, подтверждена требованиями Федерального Закона «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности...» (Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ) [1].

1. Экспериментальная часть

Большинство действующих трубопроводов тепловых сетей были введены в эксплуатацию в 60–70-х годах прошлого века и в настоящее время нуждаются в замене, являясь морально и физически устаревшим оборудованием. Это подтверждается результатами обследований участков тепловых сетей, проводимых в рамках натурного эксперимента.

Экспериментальные исследования реконструируемой тепловой сети от 3-й Выборгской котельной вдоль пр. Тореза от дома 28 по Дрезденской ул. до ТК-7 на Гданьской ул. в г. Санкт-Петербурге проводились:

- визуально с предоставлением фотоматериала (рис. 1, 2);
- с помощью приборов контроля температуры теплоизолированной поверхности трубопроводов тепловой сети.



Рис. 1. Внешняя коррозия оборудования и трубопроводов тепловых сетей при подвальной прокладке



Рис. 2. Разрушение конструкции тепловой сети, проложенной надземно

Температура теплоизоляционной поверхности измерялась с помощью пирометра оптического цифрового С–109Л. Для контроля точности результатов производилось дублирование измерений температуры с помощью контактного цифрового термометра и измерителя плотности теплового потока ИТП-2.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что температура поверхности большинства рассмотренных участков тепловой сети превышает нормируемые величины.

2. Теоретический анализ

Тепловая изоляция трубопроводов тепловых сетей на протяжении всего срока службы подвержена разрушению вследствие воздействия агрессивной окружающей среды и колебаний тепловлажностного режима работы тепловой сети. При нарушении целостности и теплофизических качеств материала тепловой изоляции происходит увеличение потерь тепла при транспортировке теплоносителя.

Для цилиндрической поверхности при стационарном температурном поле формула теплового потока, проходящего через нагретую поверхность трубы, согласно закону Фурье принимает следующий вид (1):

$$Q = q \cdot l = \frac{\pi \cdot l \cdot (t_1 - t_2)}{\frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К); q – тепловой поток, Вт/м; l – длина трубы, м; d_1 – внутренний диаметр, м; d_2 – наружный диаметр трубопровода, м.

Для участков действующих тепловых сетей подземной бесканальной прокладки и в непроходных каналах, проложенных ранее 1990 г., нормативные тепловые потери с поверхности тепловой изоляции, ккал/(м·ч), определяются по нормам (2) [4]:

$$q_{\text{ср}}^N = q_{\text{ср}}^{t1} + (q_{\text{ср}}^{t2} - q_{\text{ср}}^{t1}) \cdot \frac{\Delta t_{\text{ср}}^{\text{ср.г}} - \Delta t_n^{T1}}{\Delta t_{\text{ср}}^{T2} - \Delta t_n^{T1}}, \quad (2)$$

где $q_{\text{ср}}^{t1}$ и $q_{\text{ср}}^{t2}$ – удельные часовые тепловые потери для данного диаметра при двух смежных табличных значениях среднегодовой разности температур сетевой воды и грунта, ккал/(м·ч); $\Delta t_{\text{ср}}^{\text{ср.г}}$ – среднегодовая разность температур сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах и грунта, °С; Δt_n^{T1} и Δt_n^{T2} – смежные табличные значения среднегодовой разности температур сетевой воды и грунта, °С.

Для сетей, проложенных в период с 1990 по 1998 гг., согласно требованиям [4], значения удельных тепловых потерь, ккал/(м·ч), определяются в соответствии с типом прокладки в зависимости от среднегодовой температуры теплоносителя и условного диаметра трубопроводов.

Аналогично определяются нормы тепловых потерь для водяных тепловых сетей, спроектированных в период с 1998 по 2003 гг. и в период после 2004 года.

Величина нормативных тепловых потерь для участков подземной бесканальной прокладки, а также прокладки в непроходных каналах определялась совместно по подающим и обратным трубопроводам по формуле (3)

$$Q_n^{\text{пот}} = \sum (\beta \cdot q_n \cdot l), \quad (3)$$

где $Q_n^{\text{пот}}$ – нормативные среднегодовые потери, ккал/(м·ч); l – длина участка тепловой сети, характеризующаяся одинаковым диаметром трубопроводов и типом прокладки, м; q_n – нормативные значения удельных тепловых потерь для конкретных участков тепловой сети, ккал/(м·ч); β – коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери через запорную арматуру, опоры и компенсаторы.

Коэффициент теплопроводности является основным теплофизическим параметром, который влияет на величину потерь тепла, что следует из приведенных формул. Он зависит от рода и структуры материала, температуры, давления, а для пористых и волокнистых материалов – от влажности.

Для уменьшения потерь тепловой энергии в окружающую среду и снижения температуры наружных поверхностей трубопроводов тепловых сетей до безопасного значения их поверхности покрывают слоем тепловой изоляции.

Снижение толщины теплоизоляционного слоя возможно при применении теплоизоляционного материала с низким значением коэффициента теплопроводности.

Современные теплоизоляционные материалы должны соответствовать требованию СНиП [3]: плотность не более 200 кг/м³; коэффициент теплопроводности в сухом состоянии не более 0,06 Вт/(м·К) при средней температуре 25 °С и др.

В настоящее время наряду с уже известными и хорошо себя зарекомендовавшими материалами (ППУ, ППМ, минеральная вата и др.) применяется и современная высокотемпературная жидко-керамическая изоляция (ЖКИ), созданная с помощью нанотехнологий, например Корунд, Temp-Coat, Thermo-Shield, Re-Therm [5–7].

Обобщенный сравнительный анализ теплотехнических характеристик современных теплоизоляционных материалов (ППМ – пенополиминеральная изоляция; АПБ – армопенобетон; ЖКИ – жидко-керамическая изоляция; ППУ – пенополиуретан) для систем теплоснабжения, нашедших достаточно широкое применение в России и за рубежом, приведен на рис. 3.

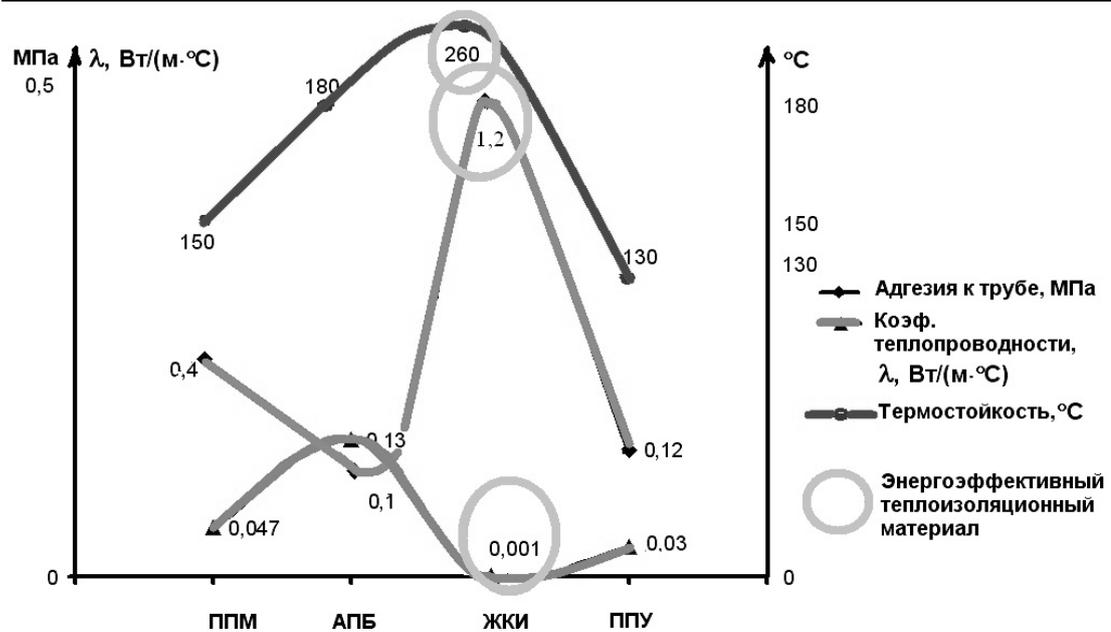


Рис. 3. Теплотехнические характеристики теплоизоляционных материалов

ВЫВОД

Результаты сравнительного анализа теплотехнических характеристик различных теплоизоляционных материалов, представленные на графике (см. рис. 3), позволяют сделать вывод о том, что жидко-керамическая тепловая изоляция (ЖКИ), по данным производителей теплоизоляционных материалов, является самым энергоэффективным теплоизоляционным материалом, имеющим коэффициент теплопроводности в пределах 0,001 Вт/(м·°C), но в то же время проигрывает ППУ изоляции из-за низкой механической прочности и износостойкости; высокой стоимости; нетехнологичности процесса, требующего многократного повторения операции «нанесение – сушка» до набора необходимой толщины изоляции [5].

Список литературы

1. Федеральный закон №261-ФЗ. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации.
2. СНиП 41-03–2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – М.: Госстрой России, 2003.
3. СНиП 41-02–2003. Тепловые сети. – М.: Госстрой России, 2003.
4. Методические указания по определению фактических объемов тепловой энергии, отпускаемой источниками тепла и реализуемых потребителям теплоснабжающими предприятиями Ленинградской области. – СПб.: Комитет экономического развития и инвестиционной деятельности Ленинградской области, 2008. – 230 с.
5. Бояринцев, А.В. Корунд как сверхтонкая теплоизоляция / А.В. Бояринцев. – Волгоград: Волгоградский инновационный ресурсный центр, 2012. – Режим доступа: www.nano34.ru
6. Как работает Temp-Coat 101. – М.: ЗАО «ТеплоЭнерго», 2012. – Режим доступа: www.temp-coat.ru.
7. Леонтьев, А.В. Термо Шилд / А.В. Леонтьев. – Екатеринбург: ООО «Thermo-Shild», 2012. – Режим доступа: www.thermo-shild.ru
8. Покрытия Re-Therm. – Казань: ООО «Инновационные технологии», 2012. – Режим доступа: www.re-therm.ru.

References

1. Federal law №261-FL. About energy saving and energy efficiency rise and about changes in some legislative acts of the Russian Federation.
2. Constructional Norms and Regulations 41-03–2003. Heating insulation of equipment and pipelines. – M.: Gosstroy of Russia, 2003.
3. Constructional Norms and Regulations 41-02–2003. Heat supply networks. – M.: Gosstroy of Russia, 2003.
4. Methodic recommendations on factual heat energy volume definition depending upon the energy released by heat sources and realized by consumers of the Leningrad region heat supplying enterprises. – SPb.: Economic development and investment activities committee of the Leningrad region, 2008. – 230 p.
5. Boyarinzev, A.V. Corundum – as superthin heat insulation / A.V. Boyarinzev. – Volgograd innovational resources center, 2012. – Access regime: www.nano34.ru.
6. How does Temp-Coat 101 work. – M.: ZAO «Теплоэнерго», 2012. – Access regime: www.temp-coat.ru.
7. Leontiev, A.V. Thermo-Shild / A.V. Leontiev. – Ekaterinburg: «Thermo-Shild» Ltd., 2012. – Access regime: www.thermo-shield.ru.
8. Re-Therm coverings. – Kazan: «Innovational technologies» Ltd., 2012. – Access regime: www.re-therm.ru.

УДК 691.342

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

Россия, 430005, г. Саранск,
ул. Большевистская, д. 68
тел.: (8342)47-77-11; факс: (8342)47-77-51

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

*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: fmatem@pguas.ru

Круглова Альбина Николаевна,

кандидат технических наук, доцент
кафедры «Математика и математическое
моделирование»
E-mail: albinakruglova@yandex.ru

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

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 Construction
Sciences, Doctor of Sciences, Professor, Head
of the department «Building designs»
E-mail: ntorm80@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

Danilov Alexander Maksimovich,

Doctor of Sciences, Professor, Adviser of the
Russian Academy of Architectural and
Construction Sciences, Head of the department
«Mathematics and Mathematical Modeling»
E-mail: fmatem@pguas.ru

Kruglova Al'bina Nikolaevna,

Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Mathematics and
Mathematical Modeling»
E-mail: albinakruglova@yandex.ru

ОЦЕНКА СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ ПО ПАРАМЕТРАМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

В.П. Селяев, А.М. Данилов, А.Н. Круглова

Приведена оценка свойств модифицированных эпоксидных композитов с использованием параметров акустической эмиссии. Выделены структурно-чувствительные акустико-эмиссионные критерии.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, эпоксидный композит.

EVALUATION OF MODIFIED EPOXY COMPOSITES PROPERTIES BY ACOUSTIC EMISSION PARAMETERS

V.P. Seljaev, A.M. Danilov, A.N. Kruglova

Evaluation of modified epoxy composites properties using acoustic emission parameters is given. Structure-sensitive acoustic emission criteria are marked.

Keywords: acoustic emission, epoxy composite.

При совершенствовании рецептуры и технологии изготовления эпоксидных композиционных материалов часто используются физические методы исследования, многие из которых не позволяют непосредственно зафиксировать кинетику процесса дефектообразования. Любые изменения структуры твёрдого тела, связанные с образованием и развитием дефектов, сопровождаются сигналами акустической эмиссии (АЭ). Поэтому весьма информативным методом и является метод АЭ, который позволяет определить не только интенсивность, но и другие параметры (момент

возникновения, положение, скорость и направление развития и др.) процесса дефектообразования. Тип эмиссионного излучения определяется характером развивающихся дефектов. Упругие деформации сопровождаются эмиссией незначительной интенсивности; пластическая деформация – непрерывным эмиссионным излучением средней интенсивности (образование микротрещин); образование магистральных трещин – импульсами с высокой амплитудой и энергией (резко выделяются при воздействии помех и шума). Акустическое излучение порождается развивающимися дефектами и дает возможность получения о них определенной информации. В зависимости от типа источника акустическая эмиссия может представляться как импульсные (например, генерируемые развивающейся трещиной) или непрерывные (например, возникающие в процессе пластической деформации металлов) сигналы излучения.

Механизмом возникновения АЭ является распространение трещин (динамическая разгрузка части материала, примыкающего к берегам трещины). Излучение механических волн определяется скачкообразным характером развития трещины. Ранние стадии трещинообразования, предшествующие разрушению объекта, можно определить в процессе мониторинга акустической эмиссии.

Позволяя выявить изменения структуры, метод акустической эмиссии даёт возможность предсказать и изменение эксплуатационных свойств материала. Так, в полимерных композиционных материалах скорость распространения акустических волн зависит не только от плотности и упругих свойств, но и от вязкости, пластичности, степени структурной неоднородности материала (определяют дисперсию, интерференцию и рассеяние акустических волн при их отражении и преломлении на границах неоднородностей).

Все это определяет актуальность задачи формирования критериев для оценки физико-механических свойств эпоксидных композитов по параметрам акустической эмиссии (корреляционная связь; прогноз физико-механических свойств ЭКМ; сглаживание временных рядов первичных признаков АЭ (амплитуда, активность, интенсивность); диаграммы «нагрузка-деформация» для каждого образца; оптимизация рецептуры материала; аппаратно-программные средства и методики исследования сигналов АЭ).

Исследования показали возможность использования следующих скалярных АЭ-критериев:

$$- E_{\Sigma} \sim \sum_n U_n^2 - \text{характеризует условную полную энергию АЭ, } U_n - \text{амплитуда}$$

АЭ;

$$- F_{i,U} = \sum_{n=N_{i-1}}^{N_{i+1}} U_n \left(\sum_{n=0}^{N_3} U_n \right)^{-1}, \quad i = \overline{1,3} - \text{отношения амплитуд АЭ на участках: I – ли-}$$

нейной упругой работы, II – нелинейной упругой работы, III – близкий к области пластического деформирования к сумме амплитуд на этих участках;

$$- F_{i,A} = \sum_{n=N_{i-1}}^{N_{i+1}} A_n \left(\sum_{n=0}^{N_3} A_n \right)^{-1}, \quad i = \overline{1,3} - \text{отношения активностей АЭ на участках I, II,}$$

III, к сумме активностей на всех трех указанных участках;

$$- F_{i,\dot{N}} = \sum_{n=N_{i-1}}^{N_{i+1}} \dot{N}_n \left(\sum_{n=0}^{N_3} \dot{N}_n \right)^{-1}, \quad i = \overline{1,3} - \text{отношения интенсивностей АЭ на участках I,}$$

II, III к сумме интенсивностей на всех трех указанных участках.

Экспериментально исследовались восемь серий эпоксидных связующих (табл. 1), наполненных отходами производства оптического стекла (ОПОС). В первых четырех сериях в матричный материал (ММ) вводился полиметилфенилсилоксан (ПМФС); который в остальных сериях распределялся по поверхности наполнителя (аппретирование); учитывались предполагаемые границы ожидаемой области с наиболее интен-

сивными структурными трансформациями (образование перколяционного и жесткого каркаса из частиц наполнителя).

Т а б л и ц а 1

Значения рецептурных факторов наполненных связующих

Номер серии ЭК	Объемная доля наполнителя	Вид модификации	Концентрация модификатора %	Условная толщина слоя аппрета, нм
1	0,2	введение в ММ	3	0
2	0,5	введение в ММ	3	0
3	0,2	введение в ММ	7,5	0
4	0,5	введение в ММ	7,5	0
5	0,2	аппретирование	0	2,5
6	0,5	аппретирование	0	2,5
7	0,2	аппретирование	0	7,5
8	0,5	аппретирование	0	7,5

Экспериментальные зависимости напряжения от времени, диаграмма сжатия, кинетика условной средней энергии АЭ, кинетика интенсивности АЭ приводятся на рис.1–8 (для серий 3, 6).

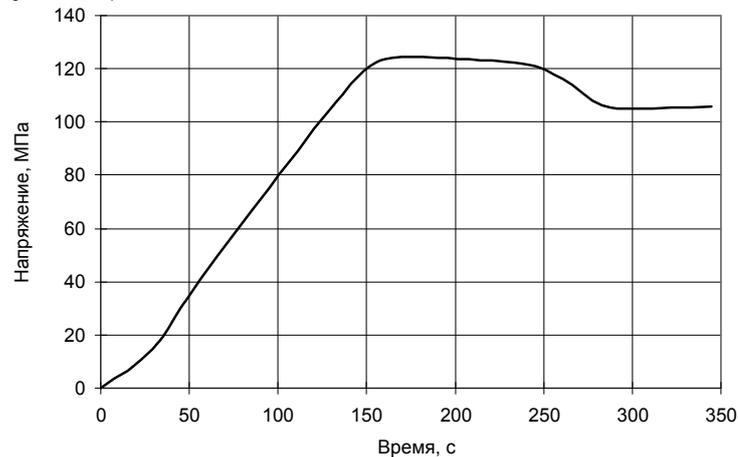


Рис. 1. Зависимость напряжения от времени для серии №3

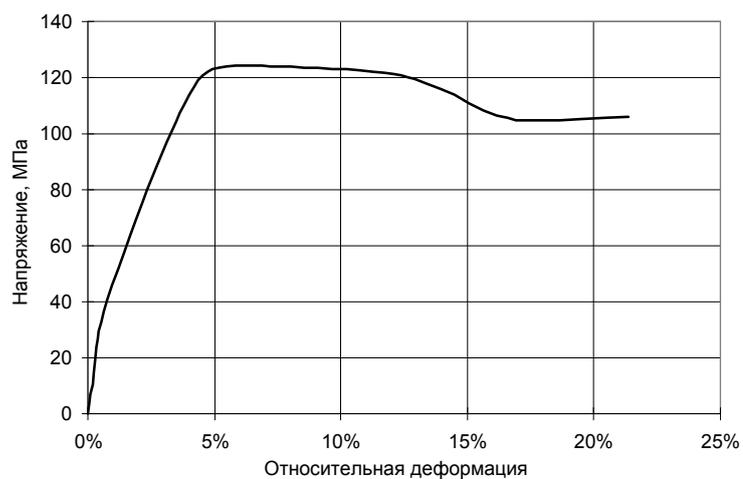


Рис. 2. Диаграмма сжатия для серии №3

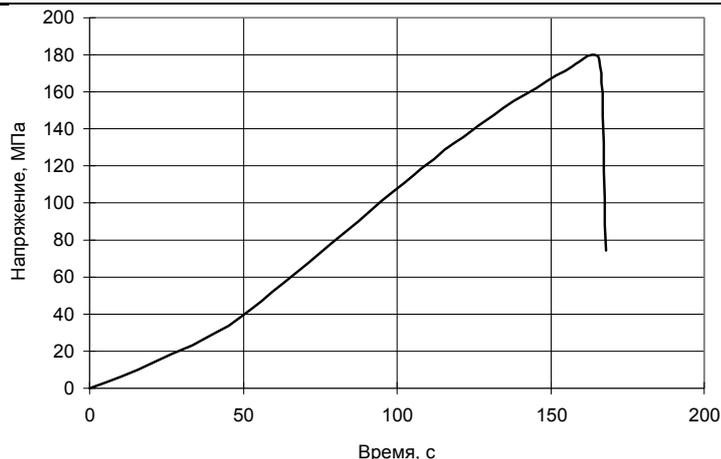


Рис. 3. Зависимость напряжения от времени для серии №6



Рис. 4. Диаграмма сжатия для серии №6

Оказалось, разрушение малонаполненного ЭС (серия 1) имеет выраженный вязкий характер; характерны сравнительно невысокие значения $\sigma_{сж}$ (≈ 130 МПа) и малые значения модуля деформации (≈ 2 ГПа). Магистральная трещина при достижении $\sigma_{сж}$ не образуется; разрушение происходит в результате развития совокупности макроскопических полос сдвига. Поэтому на участке $t > t_{сж}$ напряжение первоначально снижается (\approx до $0,9\sigma_{сж}$), а затем остается практически постоянным. Происходит диссипация энергии деформации в результате трения при взаимных перемещениях структурных элементов. При нагружении до $\sigma \approx 10$ МПа модуль $\frac{d\sigma}{d\varepsilon}$ возрастает (повышенная пористость ЭС); объемная доля наполнителя далека от оптимальной; внешнее давление вызывает уплотнение материала, сопровождающееся ростом сопротивления деформированию. При увеличении нагрузки разрушение наполненного ЭС ($v_f = 0,5$, серия 2) протекает в течение сравнительно небольшого времени (5...10 с); не является хрупким. Происходит развитие одиночной макроскопической полосы сдвига, проходящей через два параллельных ребра образца на гранях, прилегающих к пластинам около траверс испытательной машины. Число структурных элементов, расположенных по разные стороны от полосы сдвига, с течением времени убывает практически по линейному закону; аналогично изменяется и механическое напряжение в образце.

Для высоконаполненного ЭС характерны достаточно высокие значения $\sigma_{сж}$ (до 170 МПа) и модуля деформации (более 5 ГПа). При достижении значения

≈ 20 МПа структура оптимально наполненного ЭС начинает претерпевать необратимые изменения деструктивного характера уже при $\sigma \ll \sigma_{сж}$ (подтверждается видом сигналов АЭ; на это время приходится первые интенсивные отсчеты). Матричный материал составов серий №3 и №4 содержит сравнительно большое количество ПМФС (7,5 %).

Для малоуплотненного ЭС (серия №3, рис.1, 2) характерным является наличие длительного (более 100 с) участка пластического течения, а также изменение характера модуля $\frac{d\sigma}{d\varepsilon}$ при прохождении первой параметрической точки (более ранние деструктивные процессы). Участок пластического течения распространяется до относительной деформации 11..13 %, что в сочетании со сравнительно малым $\sigma_{сж}$ (около 120 МПа) приводит к малому модулю деформации (около 1 ГПа). Введение значительного количества ПМФС приводит к вязкому характеру разрушения (как для малоуплотненных, так и оптимально наполненных ЭС). Введение избыточного количества ПМФС приводит к снижению $\sigma_{сж}$ и модуля деформации (результат повышенной деформативности матрицы). При большом количестве аппрета он адсорбируется на поверхности наполнителя не в виде регулярно ориентированных мономолекулярных слоев, а в виде многослойных пленок. Заметное влияние на свойства ЭС оказывает и способ введения ПМФС.

Оказалось, что на основе аппретирования можно увеличить $\sigma_{сж}$ до 180 МПа. Упругая энергия, накопленная в процессе деформации образца (серия №6), высвобождается быстрее (для ЭС, наполненного аппретированным наполнителем, разрушение имеет характер, близкий к хрупкому). Временное сопротивление увеличивается на 7...10 % при сходном характере диаграмм « σ – ε ». В процессе совмещения компонентов модификатор мигрирует к поверхности наполнителя. У поверхности происходит селективная адсорбция (преимущественно ПМФС), эффект которой соответствует применению аппрета.

Определение скалярных АЭ-критериев разрушения ЭС осуществляется на основе исследований сигналов АЭ, возникающих при их механических испытаниях (рис. 5–8; рецептуры указаны выше).

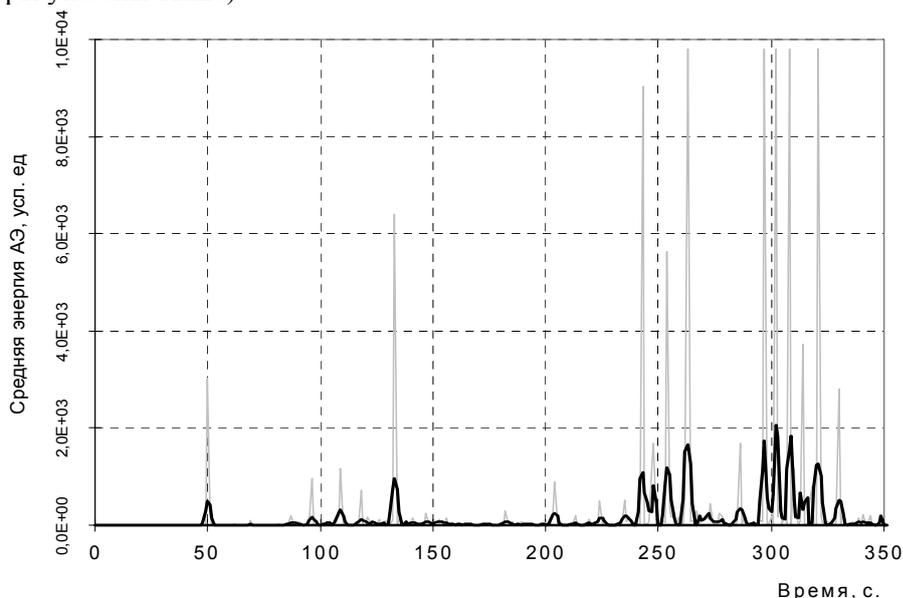


Рис. 5. Кинетика условной средней энергии АЭ для состава серии №3

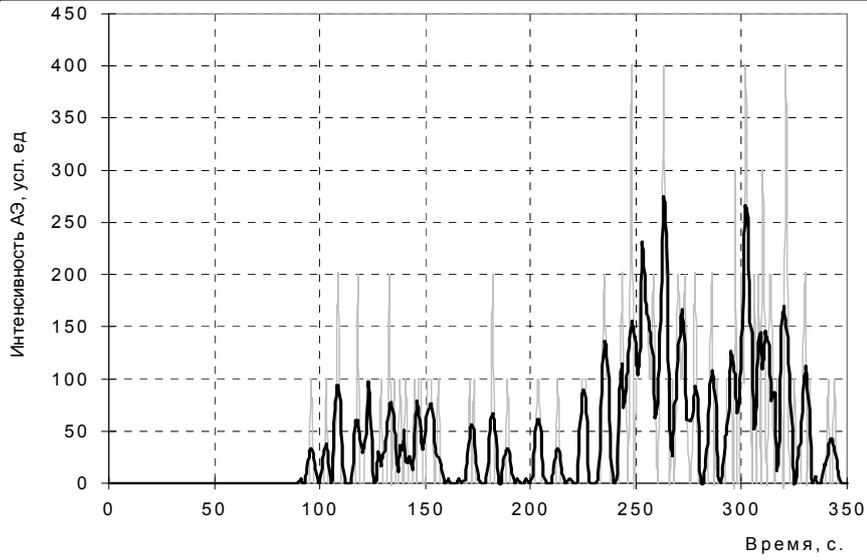


Рис. 6. Кинетика интенсивности АЭ для состава серии №3

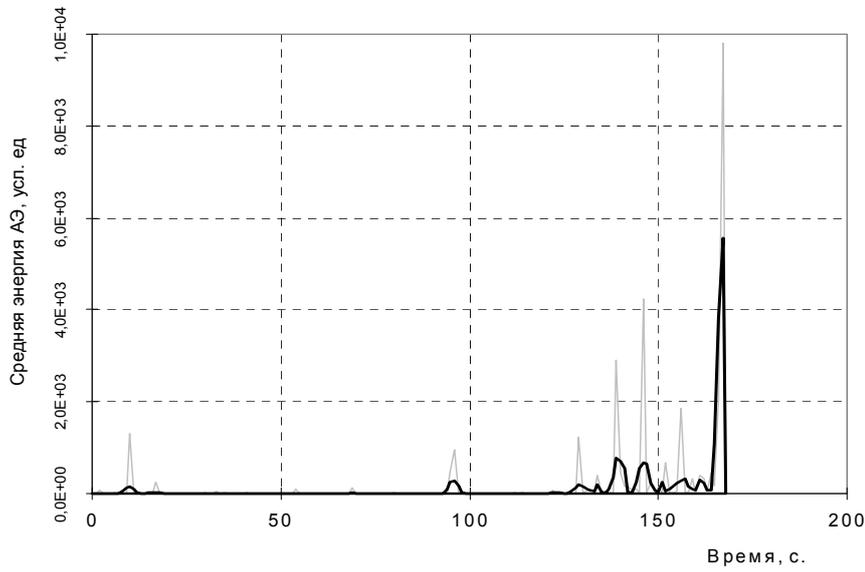


Рис. 7. Кинетика условной средней энергии АЭ для состава серии №6

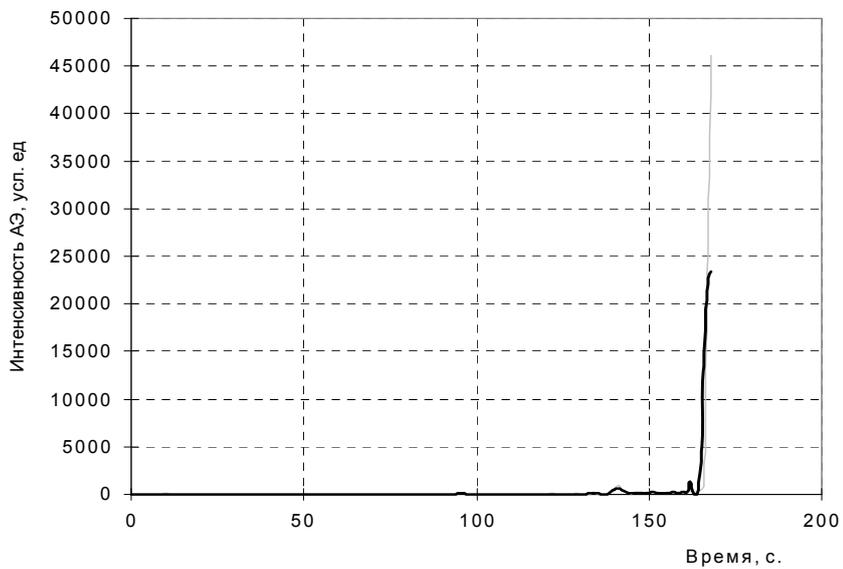


Рис. 8. Кинетика интенсивности АЭ для состава серии №6

Характерные особенности кинетики сигналов АЭ неизменны практически для всех составов, хотя отдельные элементы временных зависимостей изменяются при варьировании рецептуры ЭС. Гетерогенное строение ЭС приводит к неравномерному распределению механического напряжения между связями структурных элементов. Места локальных перенапряжений являются очагами разрушений, развитие которых заканчивается макроскопическим разрушением. При разрушении происходит динамическое перераспределение напряжений, сопровождающееся возникновением упругих волн, которые, выходя на поверхность образца, фиксируются приемным преобразователем как сигналы АЭ.

В случае высоконаполненных компаундов разрушение материала носит квазихрупкий характер; упругие деформации, развивающиеся в структурных элементах материала, не вызывают эмиссионного излучения. Поэтому при напряжениях, не превышающих 80 % от временного сопротивления, акустическая эмиссия подобных материалов практически не регистрируется. Разрушение высоконаполненных компаундов при лавинообразном нарастании количества макротрещин сопровождается высоким уровнем эмиссионного излучения. Вероятно, для высоконаполненных составов импульсы акустической эмиссии порождаются микродефектами адгезионного типа: разрушение сравнительно неплотных переходных слоев для компаунда с высоким содержанием модифицирующей добавки сопровождается существенно меньшим уровнем эмиссии. Отмечалось и характерное изменение распределения средней энергии АЭ в зависимости от объемной степени наполнения. Малой степени наполнения соответствуют большие длины участков пластической деформации с вязким разрушением. Основная доля энергии акустической эмиссии приходится именно на эти участки.

Предполагалось, что при $\sigma < \sigma_{сж}$ акустическая эмиссия возникает в результате взаимных перемещений и пластического деформирования структурных элементов на стадии, непосредственно предшествующей разрушению. Значения критериев F1, F2, F3 для оценки параметров АЭ, соответствующих участкам линейной и нелинейной упругой работы материала и в области пластического деформирования, приводятся в табл. 2–5.

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты корреляции для полной условной энергии АЭ

Свойство	Коэффициент корреляции	
	до ФНЧ	после ФНЧ
Временное сопротивление $\sigma_{ет}$	0,05	0,32
Относительная деформация при $\sigma_{ет}$	-0,02	-0,26
Модуль деформации	-0,05	0,21

Т а б л и ц а 3

Коэффициенты корреляции для F-критерия, связанного с амплитудой АЭ

Свойство	Коэффициент корреляции		
	F1	F2	F3
Временное сопротивление $\sigma_{ет}$	0,10	-0,47	0,29
Относительная деформация при $\sigma_{ет}$	-0,06	0,64	-0,45
Модуль деформации	0,03	-0,56	0,41

Т а б л и ц а 4

Коэффициенты корреляции для F-критерия,
связанного с активностью АЭ

Свойство	Коэффициент корреляции		
	F1	F2	F3
Временное сопротивление $\sigma_{ет}$	-0,05	-0,51	0,51
Относительная деформация при $\sigma_{ет}$	-0,02	0,75	-0,69
Модуль деформации	-0,07	-0,61	0,61

Т а б л и ц а 5

Коэффициенты корреляции для F-критерия,
связанного с интенсивностью АЭ

Свойство	Коэффициент корреляции		
	F1	F2	F3
Временное сопротивление $\sigma_{ет}$	-0,18	-0,59	0,63
Относительная деформация при $\sigma_{ет}$	0,18	0,76	-0,78
Модуль деформации	-0,24	-0,66	0,73

Отметим, что наиболее значительны по модулю коэффициенты корреляции, вычисленные для критерия F_3 , соответствующего активности или интенсивности АЭ (0,51 и 0,63 – для временного сопротивления, -0,69 и -0,78 – для относительной деформации при разрушающем напряжении, 0,61 и 0,73 – для модуля деформации); более чем в два раза превосходят соответствующие значения, вычисленные для условной средней энергии.

Проверку достоверности контроля можно проводить по методике, приведенной в [1].

Таким образом, можно утверждать эффективность использования сигналов акустической эмиссии, вызванной взаимными перемещениями и пластическим деформированием структурных элементов ЭС, для оценки свойств материалов на основе корреляционных зависимостей между ними и скалярными АЭ-критериями. Наибольшие значения коэффициентов корреляции между временным сопротивлением и модулем деформации характерны для структурно-чувствительных критериев $F_{3,A}$ и $F_{3,N}$ на участках пластического деформирования. Оценка разрушения наполненного эпоксидного связующего целесообразно производить по критерию F3.

Список литературы

Логанина, В.И. К вопросу о достоверности контроля при производстве бетона / В.И. Логанина, А.Н. Круглова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – №4. – С.24–26.

References

Loganina, V.I. On the reliability reliability of control in the production of concrete / V.I. Loganina, A.N. Kruglova // Vestnik of Belgorod Shukhov State Technology University. – 2011. – №4. – С.24–26.

УДК 691.175.746

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

Тарасов Роман Викторович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Стандартизация, сертификация
и аудит качества»
E-mail: rwtarasow@rambler.ru

Симонов Евгений Евгеньевич,
аспирант кафедры «Стандартизация,
сертификация и аудит качества»
E-mail: simonov888@list.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 Sciences, Professor, Head of the
department «Standardization, certification and
quality audit»
E-mail: loganin@mai.ru

Tarasov Roman Victorovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Standards, certification and
audit quality»
E-mail: rwtarasow@rambler.ru

Simonov Evgeny Evgenyevich,
Postgraduate of the department
«Standardization, Certification and Quality
Auditing»
E-mail: simonov888@list.ru

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО ДИАТОМИТА

В.И. Логанина, Р.В. Тарасов, Е.Е. Симонов

Показана эффективность модификации диатомита золем кремниевой кислоты в теплоизоляционных сухих строительных смесях. Предложена модель прочности, учитывающая дисперсность и содержание диатомита, а также водоизвестковое отношение. Приведены свойства сухой строительной смеси и покрытий на ее основе.

Ключевые слова: сухая строительная смесь, диатомит, модель прочности.

INSULATING DRY MIXTURES WITH MODIFIED DIATOMITE

V.I. Loganina, R.V. Tarasov, E.E. Simonov

The efficiency of modified diatomite silica sol in insulating dry building mixtures is shown. A model of offered strength, taking into account dispersion and diatomite content and the relationship of water and lime is given. The properties of dry construction mixtures and coatings based on it.

Keywords: dry mortar, diatomite, a model of strength.

На территории Поволжья имеются значительные запасы диатомита, ценнейшим качеством которого как сырья является возможность производить на его основе различные высококачественные материалы для многих отраслей народного хозяйства: теплоизоляционные строительные материалы, наполнители для сухих строительных смесей, адсорбенты, фильтры и т.д. Россия обладает крупной сырьевой базой диатомитов (разведанные запасы их оцениваются объемами до 1 млрд. тонн). Однако, доля России в мировом производстве продукции из диатомита составляет менее 2 %. При этом по уровню производства продукции на основе диатомита Россия значительно уступает всем ведущим странам с сопоставимыми запасами данного сырья.

Диатомит является породой осадочного происхождения и представляет собой пористую кремнистую породу, состоящую из скелетов диатомовых водорослей – диатомей, размером до 0,5 мм с диапазоном диаметра пор 10...35 нм и содержащую до 82 % кремнезема SiO₂. Диатомовые скелеты состоят из рентгеноаморфного опала,

обладающего изотропностью и интенсивной микротрещиноватостью, свидетельствующей о его коллоидной природе. Эти свойства диатомитов широко используют при производстве товарного бетона, строительных растворов и сухих строительных смесей различного назначения.

Для повышения эффективности взаимодействия диатомита с минеральными вяжущими предложены способы активации диатомита, заключающиеся в изменении его энергетического потенциала и увеличении содержания аморфного кремнезема, что приводит к увеличению эффективности взаимодействия с вяжущими [1, 2, 3].

Модификация диатомита золев кремниевой кислоты способствует повышению его гидравлической активности и увеличению количества связанной извести в известковом композите. Уже в возрасте 7 сут твердения количество химически связанной извести составляет 45,76 %, а в контрольном составе – 31,74 %, в возрасте 28 сут соответственно 48,5 и 34,5 %.

Полученные данные рентгенофазового (РФА) и дифференциально-термического (ДТА) анализа свидетельствуют о формировании более прочной структуры известкового композита на основе активированного кремнезольем диатомита. Выявлено, что составы на основе немодифицированного диатомита имеют прочность при сжатии в возрасте 28 сут твердения в зависимости от водоизвесткового отношения, равную 1,6–1,8 МПа, а с применением диатомита, активированного золев кремниевой кислоты, – 3,1–3,9 МПа, т.е. прочность увеличивается в 1,9–2,2 раза.

Для создания модели прочности известково-диатомитового композита в работе применяли методы математического планирования эксперимента [4]. Рассмотрены три основных фактора: удельная поверхность диатомита (x_1), известково-диатомитовое (x_2) и водоизвестковое отношения (x_3). Условия изменения переменных и матрица планирования приведены в табл. 1, 2.

Т а б л и ц а 1

Условия изменения переменных

Наименование	Кодированное обозначение	Переменные		
		x_1	x_2	x_3
Нижний уровень	– 1	5000	2,8	0,2
Верхний уровень	+ 1	11000	6,0	1,0
Основной уровень	0	8000	4,4	0,6
Интервал варьирования	Δ	3000	1,6	0,4

Т а б л и ц а 2

Матрица планирования

Номер опыта	x_1	x_2	x_3
1	– 1	– 1	– 1
2	+ 1	– 1	– 1
3	– 1	+ 1	– 1
4	+ 1	+ 1	– 1
5	– 1	– 1	+ 1
6	+ 1	– 1	+ 1
7	– 1	+ 1	+ 1
8	+ 1	+ 1	+ 1

После обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии, характеризующее зависимость прочности известково-диатомитового композита от указанных факторов

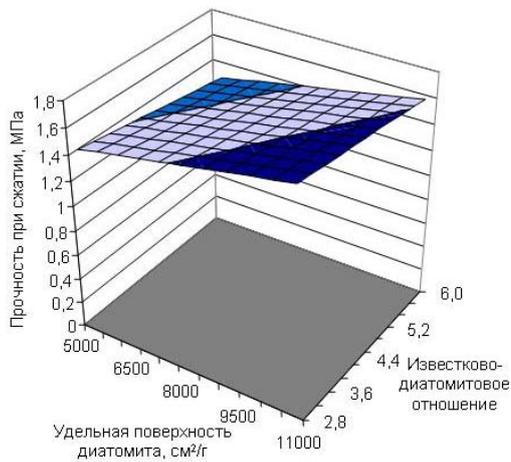
$$y = 1,39 + 0,15x_1 - 0,097x_2 - 0,13x_3 - 0,00937x_1x_2 - 0,021x_1x_3 + 0,028x_2x_3 + 0,16x_1x_2x_3.$$

Однородность дисперсий проверялась по критерию Кохрена, адекватность модели проверялась по критерию Фишера, а значимость коэффициентов – по критерию Стьюдента. После исключения из уравнения регрессии незначимых коэффициентов уравнение приобрело следующий вид:

$$y = 1,39 + 0,15x_1 - 0,097x_2 - 0,13x_3 .$$

Графическая интерпретация полученных данных представлена на рис. 1–3.

а



б

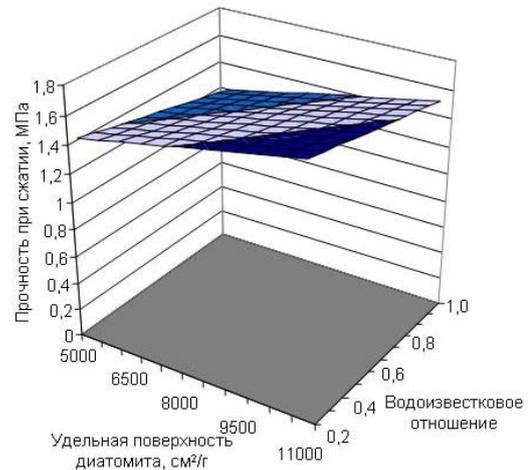
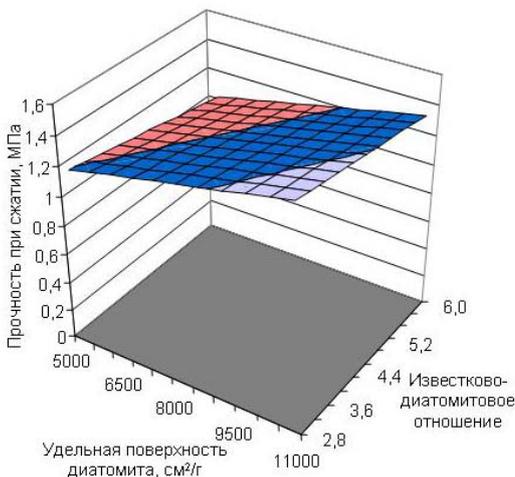


Рис. 1. Прочность известково-диатомитового композита в зависимости от удельной поверхности диатомита $S_{уд}$ и известково-диатомитового отношения:

а – при водоизвестковом отношении, равном 0,2;

б – при водоизвестковом отношении, равном 1,0

а



б

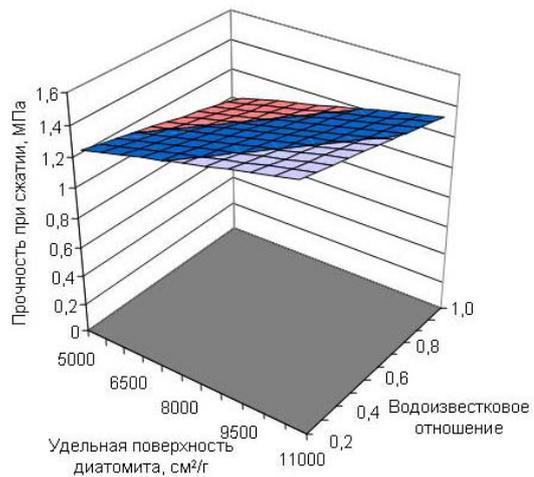


Рис. 2. Прочность известково-диатомитового композита в зависимости от удельной поверхности диатомита $S_{уд}$ и водоизвесткового отношения:

а – при известково-диатомитовом отношении, равном 2,8;

б – при известково-диатомитовом отношении, равном 6,0

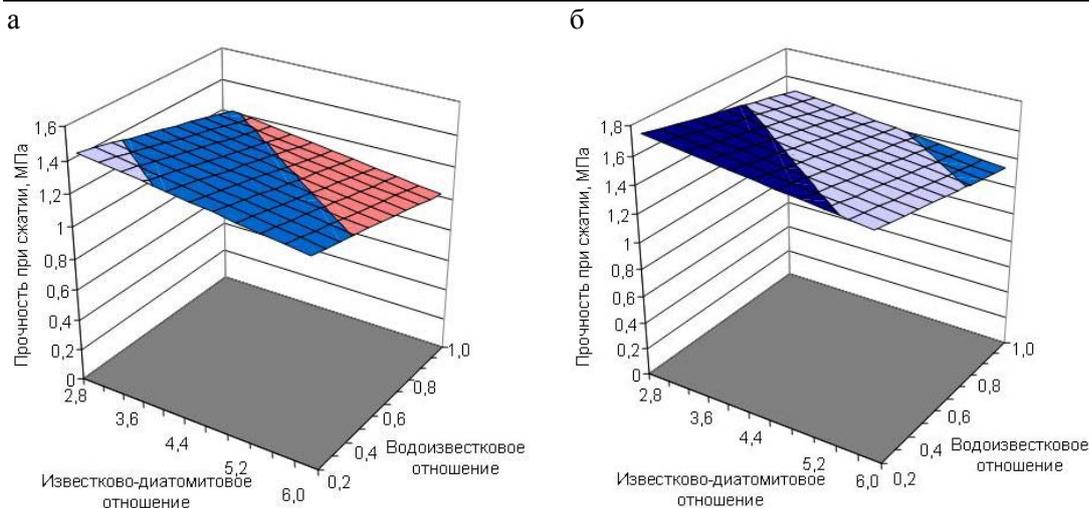


Рис.3 Прочность известково-диатомитового композита в зависимости от известково-диатомитового и водоизвесткового отношений:

- а – при удельной поверхности диатомита $S_{уд} = 3000 \text{ см}^2/\text{г}$;
- б – при удельной поверхности диатомита $S_{уд} = 11000 \text{ см}^2/\text{г}$

Полученные коэффициенты уравнения регрессии свидетельствуют о том, что повышения прочности известково-диатомитового композита можно достичь за счет увеличения удельной поверхности диатомита и одновременного уменьшения водоизвесткового отношения. Известково-диатомитовое отношение в совокупности с рассматриваемыми факторами серьезного влияния на прочность композита не оказывает.

С применением активированного диатомита разработаны составы теплоизоляционных сухих строительных смесей (ССС), предназначенные для отделки стен зданий и сооружений. Результаты проведенных исследований показали, что предлагаемые составы ССС обладают достаточной водоудерживающей способностью, составляющей 95–96 %, адгезионной прочностью, равной 0,4–0,8 МПа, жизнеспособность готовых смесей составляет 8–48 ч. Покрытия на основе известково-диатомитовых смесей обладают теплоизоляционными свойствами, коэффициент теплопроводности составляет 0,144 Вт/м·°С (табл.3).

Т а б л и ц а 3

Технологические и эксплуатационные свойства отделочного состава

Наименование показателя	Величина показателя отделочного состава
Адгезионная прочность R_{a2} , МПа	0,4...0,8
Жизнеспособность, ч	8...10
– при хранении в открытых ёмкостях	40...48
– при хранении в закрытых ёмкостях	не более 60
Время высыхания при 20 ⁰ С до степени «5», мин	95...96
Водоудерживающая способность, %	до 5
Рекомендуемая толщина одного слоя, мм	0,4...0,6
Расход отделочного состава при нанесении в 1 слой толщиной 0,5мм, кг/м ²	0,8...1,2
Расход отделочного состава при нанесении в 1 слой толщиной 10 мм, кг/м ²	хорошая
Удобоукладываемость	нет
Наличие трещин вследствие усадки	35
Морозостойкость, циклы	0,6
Водостойкость, коэффициент размягчения	0,35
Усадочные деформации, мм/м	

Результаты выполненных расчетов показывают, что для условий г. Пензы, Москвы при оштукатуривании внешней и внутренней поверхности стены известково-диатомитовым составом наблюдается смещение нулевой изотермы в сторону пониженных температур на 4–9 мм (в зависимости от конструктивного решения и района строительства).

Таким образом, проведенные исследования и расчеты показали, что применение предлагаемых ССС на основе диатомита способствует повышению долговечности ограждающей конструкции, обеспечивая более благоприятный влажностный режим наружного ограждения.

Список литературы

1. Прошин, А.П. Новые отделочные сухие смеси / А.П. Прошин, А.М. Данилов, В.И. Логанина, И.С. Великанова // *Строительные материалы*. – 2006. – №1. – С.38–41.
2. Логанина, В.И. Исследование закономерностей влияния золя кремниевой кислоты на структуру и свойства диатомита / В.И. Логанина, О.А. Давыдова, Е.Е. Симонов // *Строительные материалы*. – 2011. – №12. – С.63–66.
3. Логанина, В.И. Влияние активации диатомита на свойства известковых композиций / В.И. Логанина, О.А. Давыдова, Е.Е. Симонов // *Известия вузов. Строительство*. – 2011. – № 3. – С. 20–24.
4. Данилов, А.М. Математическое моделирование структуры и свойств материалов нового поколения / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // *Обзорные прикладной и промышленной математики*. – 2008. – Т.15, вып. 5. – С. 876–877.

References

1. Proshin, A.P. New finishing dry mix / A.P. Proshin, A.M. Danilov, V.I. Loganina, I.S. Velikanova // *Building Materials*. – 2006. – № 1. – P.38–41.
2. Loganina, V.I. Study of the influence of silica sol on structure and properties of diatomite / V.I. Loganina, O.A. Davydov, E.E. Simonov // *Construction Materials*. – 2011. – № 12. – P.63–66.
3. Loganina, V.I. Influence on the properties of activated diatomite lime songs / V.I. Loganina, O.A. Davydova, E.E. Simonov // *Trans. Construction*. – 2011. – № 3. – P. 20–24.
4. Danilov, A.M. Mathematical modeling of the structure and properties of the new generation / A.M. Danilov, I.A. Garkina // *Review of Applied and Industrial Mathematics*. – 2008. – T.15, vol. 5. – P. 876–877.

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

Демьянова Валентина Серафимовна,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Инженерная экология»
E-mail: ie-pguas@mail.ru

Гусев Алексей Дмитриевич,
ассистент кафедры «Инженерная
экология»
E-mail: Naderevnydeduschke@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

Demyanova Valentina Serafimovna,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Engineering ecology»
E-mail: ie-pguas@mail.ru

Gusev Aleksei Dmitrievich,
Assistant of the department «Engineering
ecology»
E-mail: Naderevnydeduschke@yandex.ru

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ЧЕРЕПИЦЫ

В.С. Демьянова, А.Д. Гусев

Предложено осуществлять производство отечественной строительной черепицы на основе резиновой крошки – продукта переработки изношенных автомобильных шин. Установлены физико-механические и эксплуатационные свойства резиновой гибкой черепицы.

Ключевые слова: строительная черепица, технология, резиновая крошка, свойства.

RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY OF DOMESTIC CONSTRUCTION TILE PRODUCTION

V. S. Demyanov, A.D. Gusev

The domestic construction tile on the basis of rubber crumbs – a product of recycling worn-out car tires is offered. Physicomechanical and operational properties of rubber flexible tiles are established.

Keywords: construction tile, technology, rubber crumbs, properties.

Производство строительных материалов и строительство – материалоемкие отрасли промышленности. В связи с этим поиск новых прогрессивных материалов с использованием техногенных отходов является актуальной задачей современного научно-технического прогресса, решение которой требует значительных изменений законодательных положений в части регламентации сбора и переработки отходов, создания нормативной базы рынка вторичных материальных ресурсов [1, 2]. В целях совершенствования нормативно-правового обеспечения сбора и подготовки отходов необходимы:

- создание механизмов экономического стимулирования использования отходов в качестве вторичного материального сырья;
- запрет на размещение на полигонах и свалках отходов, использование которых возможно в качестве вторичного ценного сырья;
- установление повышенных коэффициентов к ставкам платежей за размещение отходов на полигонах и свалках при условии возможности их переработки или сбыта в качестве вторичного сырья;
- создание механизмов государственного и муниципального заказов с целью стимулирования спроса на продукцию с использованием вторичного сырья.

Отмеченные мероприятия должны экономически заинтересовать средний и малый бизнес в организации переработки отходов производства и потребления и их дальней-

шего применения в качестве вторичных ресурсов, обеспечения рационального природопользования [3, 4]. Низкий уровень использования отходов обусловлен как технологическими, так и экономическими факторами, а высокая обеспеченность промышленности России природными сырьевыми ресурсами является сдерживающим фактором переработки отходов [5].

В настоящей статье предложена ресурсосберегающая технология получения отечественной кровельной черепицы с использованием продуктов переработки изношенных автомобильных шин. Изношенные автомобильные шины предприятий автотранспортного комплекса (АТК), количество которых увеличивается пропорционально росту автомобилизации, являются наиболее распространенными отходами. Основная масса изношенных шин до сих пор «утилизируется» в России путем захоронения на придорожной территории, полигонах и свалках. В прессованном виде покрышки нередко используются в качестве топлива. Однако сжигание, как способ утилизации, является одним из самых вредных для окружающей среды и здоровья человека, что обусловлено выделением цинка, оксидов серы, канцерогенных субстанций и значительного количества диоксинов в атмосферный воздух.

В Пензенской области ежегодно образуется свыше 500 тонн отходов из изношенных автомобильных шин, из них, по данным Ростехнадзора, утилизируется около 250...280 т в год. Основная масса автотранспортных средств (АТС) находится в частной собственности, в результате отходы этой доли АТС утилизируются в малой степени и способствуют повышению загрязнения окружающей среды. В частности, для г. Пензы и Пензенской области неорганизованный частный сектор, контроль за которым со стороны экологических служб практически отсутствует, составляет не менее 90 % и требует оперативного решения [6]. Между тем анализ существующих методов переработки свидетельствует о возможности получения и использования продуктов переработки изношенных шин в качестве вторичных ресурсов. Наиболее эффективной является механическая переработка изношенных автошин, обеспечивающая раздельное извлечение компонентов переработки, таких, как крошка, металлокорд и текстиль. По ориентировочным расчетам, ежегодно из использованных покрышек можно получить свыше 600 тыс. т продуктов переработки. Наибольшую долю из них составляет резиновая крошка (РК).

В настоящее время на базе научно-производственного предприятия НПП «Эко-ресурс» освоен выпуск напольных и разрабатывается технология получения кровельных покрытий на основе резиновой крошки – продукта переработки изношенных шин. Переработка изношенных шин производится на установке КПШ-1 (рис.1) предприятия ООО «Пензмаш» (г.Пенза).

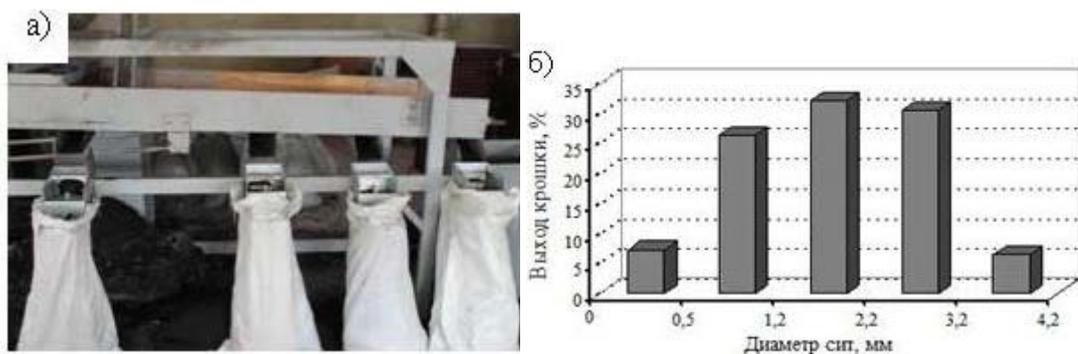


Рис. 1. Рассев РК по фракциям:

а – система сит на установке КПШ-1; б – выход резиновой крошки

В процессе переработки изношенных автошин происходит окисление поверхности резиновой крошки, а наличие кислородсодержащих оксидных групп на поверхности частиц порошка ухудшает адгезионное взаимодействие между полиолефиновой полимерной матрицей и наполнителем. В настоящее время разработаны модифицирующие добавки, способные повысить адгезионное взаимодействие между компонен-

тами создаваемого композиционного материала. Для получения полимерных материалов на основе резиновой крошки используются высокодисперсные наполнители, размер которых исчисляется микронами. Максимальный диаметр используемой крошки 3,2 мм соизмерим с толщиной предлагаемой гибкой резиновой черепицы (до 4 мм). Дисперсионный состав РК, определяемый методом автоматического отсева с использованием различных сит, характеризуется преобладающим содержанием крошки фр.0,5...1,2; фр.1,2...2,2; фр.2,2...3,2.

Осуществлен выбор оптимальных технологических параметров изготовления отечественной резиновой гибкой черепицы на основе резиновой крошки, полученной путем измельчения изношенных автомобильных шин на установке КПШ-1.

Методом математического планирования эксперимента установлена взаимосвязь прочности на растяжение и относительного удлинения при разрыве резиновой черепицы в зависимости от рецептурно-технологических факторов. В качестве переменных факторов приняты давление прессования $P - X_1$, температура $T - X_2$, концентрации связующего $D - X_3$, варьируемые на трех уровнях (-1, 0, +1). Изменение показателей прочности R_p и относительного удлинения при разрыве ε в зависимости от температуры, давления прессования и дозировки полиуретанового связующего описывается полиномами второй степени следующего вида:

– прочность на растяжение при разрыве

$$R_{\text{раст}} = 3,587 + 0,356 X_1 - 0,186 X_2 + 0,36067 X_3 - 0,2337 X_1^2 - 0,4337 X_2^2;$$

– относительное удлинение при разрыве

$$\varepsilon = 72,018 - 1,7967 X_1 - 6,9567 X_2 + 7,7433 X_3 - 3,5722 X_2^2 - 4,0056 X_3^2.$$

Установлено, что наилучшими показателями прочности (3,9 МПа) и относительного удлинения при разрыве (75,2 %) обладают образцы кровельного материала с учетом требований, предъявляемых европейским стандартом качества EN 544 «Качественные характеристики битумной черепицы» к резино-битумным кровлям класса 1: давление 14...16 МПа, дозировка связующего 8...10 % от массы сухой смеси, температура прессования 110...130 °С, продолжительность прессования 5 мин.

Физико-механические и эксплуатационные свойства предлагаемой строительной черепицы:

– прочность при разрыве – 3,0 МПа;

– водопоглощение по массе – 1,2 %, что соответствует требованиям ГОСТ. Согласно ГОСТ водопоглощение должно быть не более 2 %;

– водонепроницаемость – соответствует. В результате 96-часового воздействия водяного столба признаков воды на фильтровальной бумаге не обнаружено;

– гибкость покрытия – по результатам испытаний образцов кровельного материала на гибкость, на поверхности всех испытываемых образцов отсутствуют трещины, изломы. Трещины, расположенные на расстоянии не более 5 мм от края, не учитывались.

Преимущества предлагаемой черепицы перед аналогичной продукцией: технологичность, простота монтажа, отсутствие необходимости в покраске, а также повышенные шумо- и виброизоляция, положительные гидроизоляционные и микробиологические (отсутствие грибка) характеристики и т.д.

Применение резиновой крошки из автошин имеет большое ресурсосберегающее значение. Реализация предлагаемой технологии позволяет решить не только экологическую задачу рециклинга транспортных отходов, но и расширить сырьевую базу строительных материалов путем использования вторичных материальных ресурсов (ВМР). Производство отечественной гибкой черепицы на основе техногенных отходов, соответствующее нормативным требованиям, способствует развитию экоиндустрии в регионах РФ.

Социально-экономический эффект от использования вторичных ресурсов заключается в улучшении потребительских свойств выпускаемой продукции и отказ от импортной, создании рабочих мест при производстве конкурентоспособного кровельного материала.

Использование вторичных материальных ресурсов на основе техногенных образований и отходов позволяет существенно сократить объемы производства и использования специальных промышленных материалов и снизить техногенную нагрузку на окружающую природную среду.

Список литературы

1. Демьянова, В.С. Ресурсосбережение в сфере управления отходами производства и потребления / В.С.Демьянова, А.Д.Гусев, Т.Н. Смакина // *Фундаментальные исследования в Пензенской области. Состояния и перспективы: материалы научно-практической конференции.* – Пенза, 2010. – С.42–44.
2. Орлецкая, Л.В. Ценные вторичные ресурсы / Л.В. Орлецкая // *Специализированный информационно-аналитический журнал «Рециклинг отходов».* – 2006. – №6. – С. 3–4.
3. Боровский, Б.В. Законодательства ЕС и России об отходах: Сравнительный анализ / Б.В. Боровский, Т.А. Боровская // *Научно-практический журнал ТБО.* – август 2010. – С.14–18.
4. Министерство промышленности и энергетики Российской Федерации. Концепция Федерального закона "О вторичных материальных ресурсах" // *Справочно-информационная система 2010.* – Режим доступа: <http://www.waste.ru/modules/documents/item.php?itemid=180>.
5. Коростелев, А.Б. Актуальные вопросы рециклинга, переработки отходов и чистых технологий / А.Б. Коростелев, Е.Ю. Быховская // *Цветные металлы.* – 2007. – №2. – С.126.
6. Основные показатели рынка с1992 г. по 2008 г.: ежегодный статистический сборник. Пензенская область. – Пенза, 2009. – 586 с.

References

1. Demyanova, V.S. Resource conservation in the management of industrial and domestic waste / V.S. Demyanova, A.D. Gusev, T.N. Smakina // *Basic research in the Penza region. Status and prospects: Proceedings of the conference.* – Penza, 2010. – P.42–44.
2. Orletskaya, L.V. Valuable secondary resources / L.V. Orletskaya // *Specialized information and analytical magazine «Waste Recycling».* – 2006. – № 6. – P. 3–4.
3. Borovskiy, B.V. EU legislation on waste and Russia: A Comparative Analysis / B.V. Borovskiy, T.A. Borovskaya // *Scientific and practical journal of solid waste.* – In August 2010. – C.14–18.
4. Ministry of Industry and Energy of the Russian Federation. The concept of the Federal Law" On the secondary material resources" // *Reference and Information System 2010.* – URL.: <http://www.waste.ru/modules/documents/item.php?itemid=180>.
5. Korostelev, A.B. Topical issues of recycling and clean technology / A.B. Korostelev, E.J. Bykhovskaya // *Non-ferrous metals.* – 2007. – № 2. – P.126.
6. Key market indicators s1992g. to 2008: statistical yearbooks. Penza region.– Penza, 2009. – 586 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

Ерошкина Надежда Александровна,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
научно-исследовательского сектора
E-mail: n_eroshkina@mail.ru

Коровкин Марк Олимпиевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технология строительных
материалов и деревообработка»
E-mail: m_korovkin@mail.ru

Аксенов Сергей Владимирович,
аспирант кафедры «Технология
строительных материалов
и деревообработка»
E-mail: s_aksenov.1988@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

Eroshkina Nadezhda Alexandrovna,
Candidate of Sciences, senior researcher
of scientific and research sector
E-mail: n_eroshkina@mail.ru

Korovkin Mark Olimpiyevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Technolgy of building
materials and wood processing»
E-mail: m_korovkin@mail.ru

Aksenov Sergey Vladimirovich,
Postgraduate of the department «Technolgy
of building materials and wood processing»
E-mail: s_aksenov.1988@mail.ru

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА МАГМАТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД НА АКТИВНОСТЬ ГЕОПОЛИМЕРНОГО ВЯЖУЩЕГО

Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин, С.В. Аксенов

Установлено влияние породообразующих минералов магматических горных пород на активность минерально-щелочного вяжущего. Выявлено, что использование комплексного активатора и тепловой обработки при температуре 105 °С позволяет получить вяжущее прочностью 30...50 МПа.

Ключевые слова: минерально-щелочное вяжущее, геополимер, магматические породы, минеральный состав, активатор твердения, щелочная активация.

THE INFLUENCE OF MAGMATIC ROCKS MINERAL COMPOSITION ON THE ACTIVITY OF GEOPOLYMER BINDER

N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin, S.V. Aksenov

The influence of magmatic rock-forming minerals on the activity of mineral-base binder was defined. It was revealed that the use of a complex activator and heat treatment at 105 °C provides a binder with a strength of 30...50 MPa.

Keywords: mineral-alkaline binder, geopolymer, magmaic rocks, mineral composition, curing activator, alkaline activation.

Вяжущие щелочной активации – наиболее активно развивающееся направление разработки энерго- и ресурсосберегающих бесклинкерных вяжущих строительного назначения. К числу таких вяжущих относят шлакощелочные, минерально-шлаковые, геощлаковые [1], а также их новую разновидность – минерально-щелочное вяжущее, основным компонентом которого являются тонкоизмельченные магматические горные породы [2]. В работе [3] для подобных вяжущих на основе вулканических пород предложено использовать термин «щелочно-минеральное вяжущее». Минерально-щелочные вяжущие относятся к наименее изученным, но перспективным видам вяжущих, твердение которых активируется растворами щелочей. Установлено [4], что этот вид вяжущего может быть использован для производства конструкционных бетонов.

Механизм структурообразования вяжущих, активированных щелочами, до конца не понятен. Значительный прогресс в решении данного вопроса был достигнут в исследованиях J. Davidovits, который предложил рассматривать эти вяжущие как неорганические полимеры. Этим ученым был введен в научный оборот термин *геополимер*, который в настоящее время широко применяется в зарубежной научной литературе для обозначения многих видов активированных щелочами вяжущих [5]. В соответствии с представлениями J. Davidovits твердение щелочных вяжущих происходит в 3 этапа: растворение алюмосиликатов в сильнощелочной среде, расщепление природных структур на мономеры и образование полимерной структуры $\{Na, K_n[-Si-(Al)-O]_z \cdot nH_2O\}$ из мономерных силикатных и алюминатных групп. Геополимеры получают на основе термически обработанного алюмосиликатного природного или техногенного сырья: каолина, полевого шпата, шлаков, зол и др.

В работах [2...4, 7] показано, что на основе многих магматических горных пород *без термической обработки* могут быть получены вяжущие для производства строительных материалов. В некоторых работах [5, 6] указывается на схожесть состава и механизмов твердения строительных вяжущих. В связи с чем трудно провести четкую границу между различными щелочными вяжущими (рис. 1).

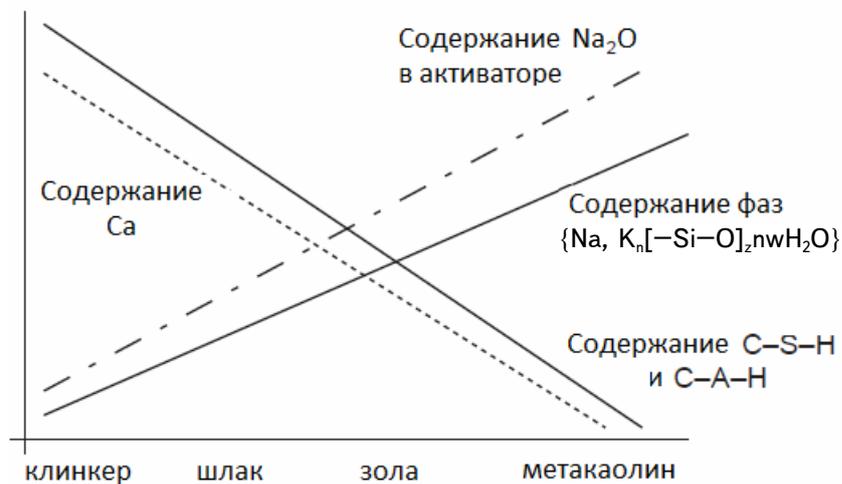


Рис. 1. Состав различных вяжущих, активированных щелочью [5]

Измельченные магматические горные породы при щелочной активации способны проявлять вяжущие свойства, однако для получения гидравлических вяжущих на основе этого сырья необходимо вводить добавку – не менее 10 % доменного шлака, а в качестве активатора должны применяться метасиликаты натрия или кальция [7]. Полимерный характер структуры щелочных метасиликатов позволяет обоснованно предположить, что минерально-щелочные вяжущие [2, 7] также можно отнести к геополимерным материалам.

Зависимость свойств геополимеров от их состава и условий твердения, а также механизм их структурообразования исследованы еще не полностью [5, 6]. В настоящее время идет накопление эмпирических данных о влиянии различных факторов на структурообразование геополимерных и других вяжущих щелочной активации [1, 6]. Систематизация и анализ этих данных позволит разработать теорию твердения и научно-практически обоснованную технологию этих вяжущих.

Минерально-щелочные материалы – наименее изученная разновидность геополимерных вяжущих. Минералы, входящие в состав магматических горных пород, характеризуются различной химической активностью по отношению к щелочам; поэтому свойства вяжущих, изготовленных с применением различных горных пород, могут значительно различаться.

На рис. 2 представлено схематичное расположение излившихся и глубинных горных пород на шкале кислотности и показано ориентировочное содержание в них пороодообразующих минералов.

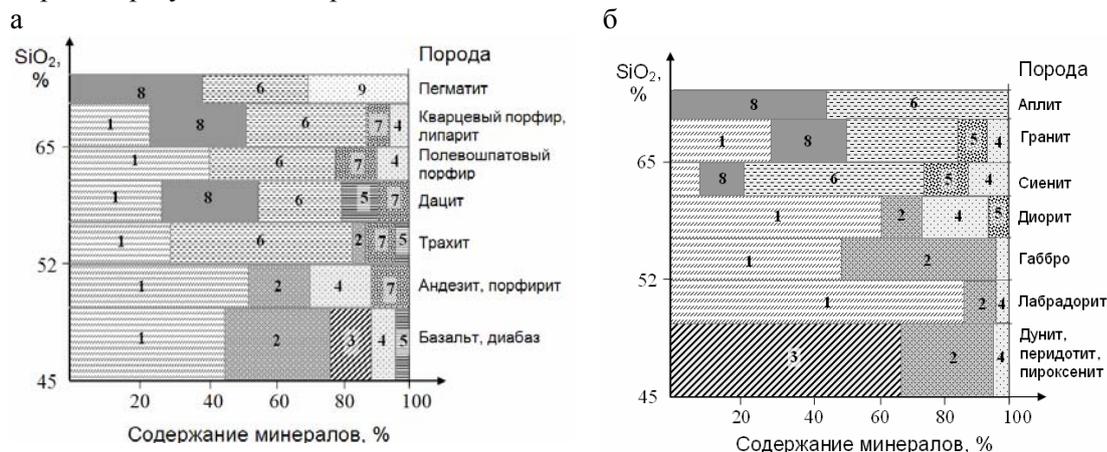


Рис. 2. Минералогический состав излившихся (а) и глубинных (б) магматических горных пород по [9]:

- 1 – плагиоклаз; 2 – пироксен; 3 – оливин; 4 – роговая обманка; 5 – амфибол; 6 – полевоый шпат; 7 – биотит; 8 – кварц; 9 – слюда

Излившиеся и глубинные породы при сходном химическом составе из-за различий в условиях образования имеют различные минералогический состав и структуру. Более быстрое охлаждение магмы при образовании излившихся пород, в сравнении с глубинными породами, обуславливает формирование менее термодинамически устойчивых мелко- и скрытокристаллических минералов, а также стеклофазы. Кроме того, излившиеся горные породы могут содержать большее число минералов, чем их глубинные аналоги. Все эти факторы позволяют предположить, что излившиеся породы должны характеризоваться более высокой реакционной способностью.

Для выявления влияния основных пороодообразующих минералов магматических пород на прочность минерально-щелочного вяжущего были исследованы вяжущие, приготовленные на основе некоторых широко распространенных представителей излившихся и глубинных горных пород.

Для активации твердения использовался комплексный щелочной активатор на основе метасиликата натрия (натриевого жидкого стекла) и гидроксида натрия при соотношении компонентов 4,2:1, так как такой баланс обеспечивает достижение наибольшей прочности при минимальной усадке [8].

Исследования проводились на составах вяжущего с различной консистенцией – пластичной и сверхжесткой. Пластичные смеси уплотнялись на стандартной лабораторной виброплощадке, а жесткие – прессованием при давлении 25 МПа. Соотношение компонентов вяжущего с пластичной консистенцией: измельченная горная порода – 87 %, активатор твердения – 13 %. Для приготовления смесей со сверхжесткой консистенцией расход компонентов составлял: измельченная горная порода – 94 %, активатор твердения – 6 %. Водовяжущее отношение в этих смесях – соответственно 0,22 и 0,09.

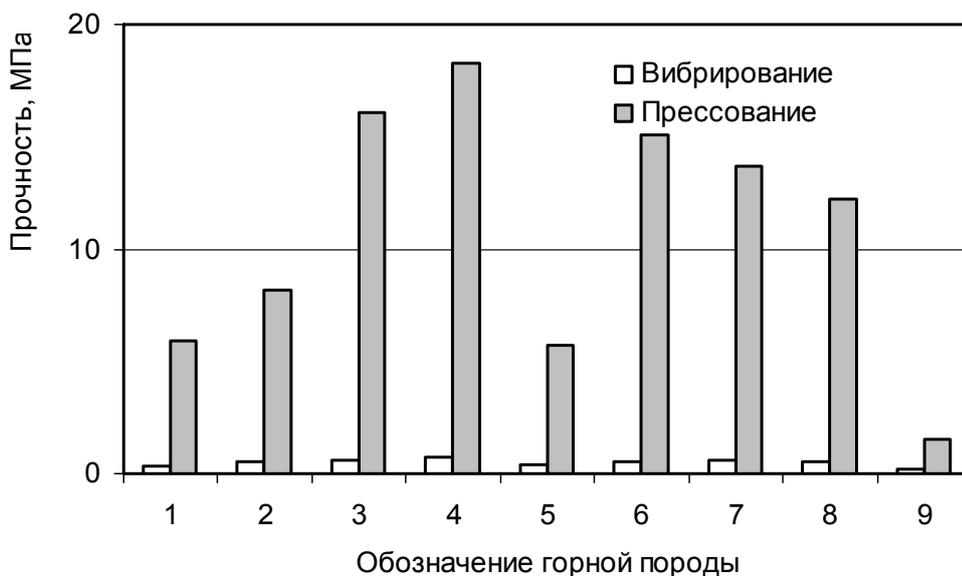
Для приготовления вяжущего использовались горные породы, измельченные до дисперсности (350±10) м²/кг: гранит Павловского и Хребетского месторождений, гранит плагиоклазовый, гранит розовый, базальт, перидотит, габбро-диабаз и дацит.

Экспериментальные исследования показали, что прочность полученных вяжущих с пластичной консистенцией, твердевших в нормальных условиях в течение 28 суток, незначительна – от 0,1 до 0,5 МПа (рис. 3,а). Снижение расхода воды в жестких смесях обеспечивает повышение прочности до 6...18 МПа. Наибольшая прочность была достигнута у вяжущих, приготовленных с применением ультраосновных пород – базальта и перидотита.

Полученные значения прочности при твердении в нормальных условиях у исследованных вяжущих на порядок ниже, чем у большинства традиционных вяжущих при сопоставимых расходах воды.

Тепловая обработка вяжущих при температуре изотермической выдержки 105 °С в течение 8 часов позволяет повысить прочность до 30...50 МПа (рис. 3, б). Как видно из диаграмм, прочности жестких и пластичных смесей различаются приблизительно на 20 %, что позволяет изготавливать в заводских условиях не только прессованные и вибропрессованные изделия, но и конструкции по традиционной для строительной индустрии технологии.

а



б

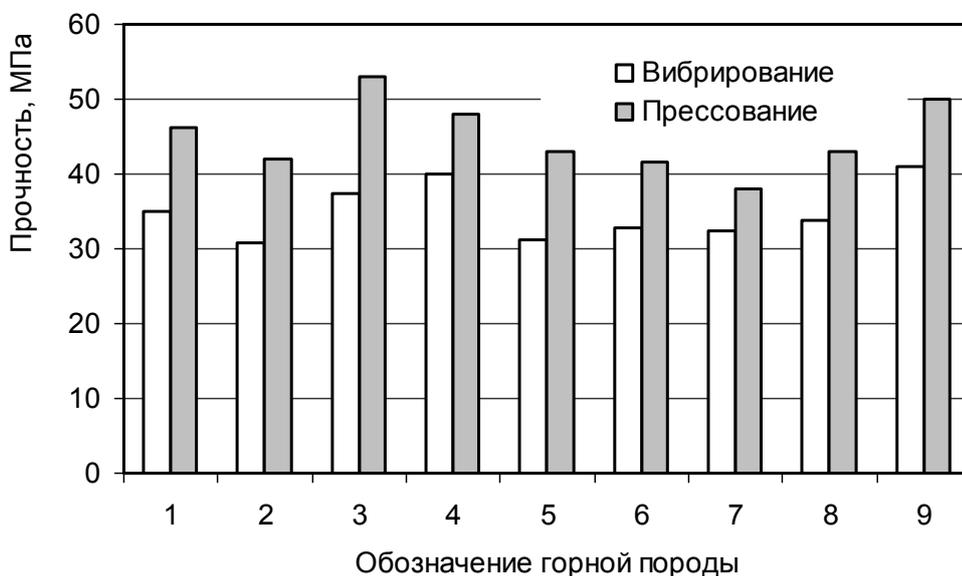


Рис. 3. Прочность вяжущих для различных способов формования при твердении в нормальных условиях в течение 28 суток (а) и после тепловой обработки при 105 °С (б) для составов вяжущих, приготовленных с применением различных горных пород:

- 1 – гранита Павловского; 2 – гранита Хребетского; 3 – перидотита; 4 – базальта;
 5 – гранита розового; 6 – гранита с роговой обманкой; 7 – гранита биотитового;
 8 – гранита плагиоклазового; 9 – габбро-диабазы

Исследование водостойкости вяжущих показало, что коэффициент их размягчения находится в широком интервале – от 0,15 до 0,9. Низкие значения – менее 0,5...0,6 – характеризуют воздушный тип твердения вяжущего, которое обусловлено в основном обезвоживанием метасиликата натрия. Повышение водостойкости обеспечивается за счет вовлечения в реакции структурообразования некоторых минералов из горных пород. В результате этих реакций образуются водостойкие фазы. В пользу этого предположения свидетельствует корреляционная зависимость между прочностью вяжущего и его водостойкостью.

Основными породообразующими минералами в исследованных горных породах являются ортоклаз, кварц, плагиоклаз и пироксен. В связи с этим были проанализированы зависимости прочности исследованных вяжущих от содержания в них указанных минералов. Для анализа были использованы усредненные результаты определения прочности вяжущих, полученных прессованием и твердеющих при тепловой обработке, так как именно эти результаты наиболее полно отражают реакционную активность минералов, входящих в состав горных пород.

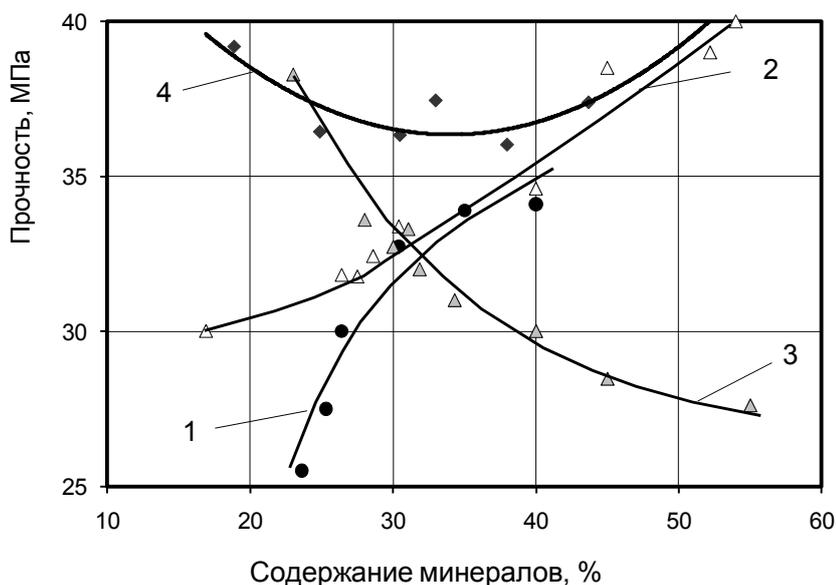


Рис. 4. Прочность вяжущих в зависимости от содержания основных породообразующих минералов:
1 – кварца; 2 – плагиоклаза; 3 – ортоклаза; 4 – пироксена

Согласно графикам, приведенным на рис. 4, прочность минерально-щелочного вяжущего в значительной степени зависит от вида и содержания минералов. Увеличение содержания в породах кварца, плагиоклаза повышает прочность вяжущих, ортоклаза – снижает их прочность. Изменение содержания в породах пироксена в интервале 20...40 % практически не отражается на прочностных характеристиках вяжущего.

Установлено, что излившиеся и глубинные магматические горные породы, измельченные до удельной поверхности $(350 \pm 10) \text{ м}^2/\text{кг}$, активированные комплексным активатором на основе метасиликата натрия и гидроксида натрия, могут использоваться для получения безобжиговых вяжущих. Выявлено, что при твердении в нормальных условиях эти вяжущие имеют низкую прочность, а тепловая обработка позволяет достичь прочности 30...50 МПа. Доказано влияние минерального состава горных пород на прочность вяжущих. Это свойство зависит от содержания в породах породообразующих минералов – ортоклаза, кварца, плагиоклаза и пироксена. Для достижения вяжущими наибольшей прочности необходимо использовать породы с суммарным количеством кварца и ортоклаза порядка 50 %, в которых содержание плагиоклаза не превышает 40...50 %. Исследование влияния состава горных пород на прочностные характеристики вяжущих показывает, что с уменьшением кислотности пород возрастает активность вяжущих.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки ресурсо- и энергосберегающей технологии производства вяжущих на основе отходов добычи и переработки рудных и нерудных полезных ископаемых.

Список литературы

1. Калашников, В.И. К вопросу классификации шлаковых и минерально-шлаковых вяжущих / В.И. Калашников, В.Ю. Нестеров, В.Л. Хвастунов // Современное состояние и перспектива развития строительного материаловедения: материалы / VIII Академ. чтения РААСН. – Самара: СГАСУ, 2004. – С. 201–205.
2. Ерошкина, Н.А. Вяжущее, полученное из магматических горных пород с добавкой шлака, и бетон на его основе / Н.А. Ерошкина, В.И. Калашников, М.О. Коровкин // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 2. – С. 62–65.
3. Ахвердиева, Т.А. Исследование процессов твердения и структурообразования щелочно-минеральных вяжущих и бетонов / Т.А. Ахвердиева // Естественные и технические науки. – 2010. – № 1. – С. 369–377.
4. Ерошкина, Н.А. Исследование деформационно-прочностных свойств бетона на основе минерально-щелочного вяжущего / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин // Вестник МГСУ. – 2011. – Т. 2, № 2. – С. 314.
5. Davidovits, J. Geopolymers: Inorganic polymeric new materials / J. Davidovits // Journal of Materials Education. – 1994. – Vol. 16 (2, 3). – P. 91–138.
6. Škvára, F. Alkali activated materials or geopolymers? / F. Škvára // Ceramics – Silikáty. – 2007. – 51 (3). – P. 173–177.
7. Ерошкина, Н.А. Исследование вяжущих, полученных при щелочной активизации магматических горных пород / Н.А. Ерошкина // Строительство и реконструкция. – 2011. – № 1. – С. 61–65.
8. Ерошкина, Н.А. Влияние параметров состава минерально-щелочного вяжущего на прочность и усадку бетона / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин // Вестник ВолГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. – 2012. – № 27. – С. 78–83.
9. Ерошкина, Н.А. Минерально-щелочные вяжущие: моногр. / Н.А. Ерошкина, В.И.Калашников, М.О. Коровкин. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 152 с.

References

1. Kalashnikov, V.I On the classification of slag and mineral-slag binders / V.I. Kalashnikov // Modern state and prospects of building materials / 8 Academic Reading. – Samara, 2004. – P. 193–197.
2. Eroshkina, N.A. A binder from magmatic rocks with addition of slag and concrete on its basis / N.A. Eroshkina, V.I. Kalashnikov, M.O. Korovkin // Regional architecture and engineering. – 2011. – № 2. – P. 62–65.
3. Ahverdieva, T.A. Investigation of the processes of hardening and structure of alkali-mineral binders and concretes / T.A. Ahverdieva // Natural and Technical Sciences. – 2010. – №1. – P. 369–377.
4. Eroshkina, N.A. Study deformation and strength properties of concrete based on mineral-alkaline binder / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin // Vestnik MGSU. – 2011. – Vol. 2, Iss. 2. – P. 314–319.
5. Davidovits, J. Geopolymers: Inorganic polymeric new materials / J. Davidovits // Journal of Materials Education. – 1994. – Vol. 16, Iss. 2, 3. – P. 91–138.
6. Škvára, F. Alkali activated materials or geopolymers? / F. Škvára // Ceramics – Silikáty. – 2007. – 51 (3). – P. 173–177.
7. Eroshkina, N.A. Research of the knitting, magmatic rocks received at alkaline activation / N.A. Eroshkina // Building and reconstruction. – 2011. – №1. – P. 61–65.
8. Eroshkina, N.A. The influence of parameters of mineral alkaline binder composition on the strength and shrinkage of concrete / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin // Vestnik VolgGASU. – 2012. – № 27. – P. 78–83.
9. Eroshkina, N.A. Mineral alkaline binder: monogr. / N.A. Eroshkina, V.I. Kalashnikov, M.O. Korovkin. – Penza: PGUAS, 2012. – 152 p.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 624.042.1:69.022

*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

Ласьков Николай Николаевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: lask58@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

Laskov Nikolay Nikolaevich,
Doktor of Sciences, Professor of the
department «Building constructions»
E-mail: lask58@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ СТЕН ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИЛ

Н.Н. Ласьков

Приводится комплексный анализ факторов, полученных в результате экспериментальных исследований стен при действии вертикальных и горизонтальных сил. Этот анализ в действительности является экспериментальной базой теории сопротивления стен.

Ключевые слова: стены, вертикальные и горизонтальные нагрузки, схемы армирования, соотношение размеров сторон.

EXPERIMENTAL THEORY OF WALLS RESISTANCE UNDER JOINT ACTION OF VERTICAL AND HORIZONTAL FORCES

N.N. Laskov

Complex factors analysis obtained by tests of walls under joint action of horizontal and vertical forces is given. This analysis is the experimental base of wall resistance theory.

Keywords: walls, vertical and horizontal loads, reinforcement scheme, the correct aspect ratio.

В Пензенском ГУАС на кафедре строительных конструкций совместно с НИИЖБ реализована программа комплексных экспериментально-теоретических исследований стен при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил, которая позволила изучить влияние различных факторов и их сочетаний на прочность стен и разработать физически обоснованную теорию сопротивления стен при различных силовых воздействиях.

Исследования проводились на базе физических и численных экспериментов с использованием одинаковых параметров нагружения и характеристик образцов. Выбор схемы нагружения основывался на действительной работе стен, когда вертикальная нагрузка равномерно распределяется по длине стены, горизонтальная нагрузка концентрируется в верхнем и нижнем уровне стены и передается равномерно

по длине. Испытано и проанализировано более 100 фрагментов стен. В исследованиях принято пять основных факторов.

- Соотношение вертикальных и горизонтальных сил при изменении величины вертикальной нагрузки от 0 до разрушающей величины.
- Соотношение размеров сторон H/L , равное $H/L=0,5; 1,0; 1,5; 2,5$.
- Изменение вида материала. Исследовались стены из различных видов бетона (тяжелого, мелкозернистого, малощебёночного) и каменной кладки.
- Различные схемы и процент армирования поля и контура стен.
- Проемы и отверстия различных размеров и схем их расположения.

На основе проведенных экспериментальных исследований получен комплекс научных результатов, который позволил значительно развить экспериментально-теоретическую базу сопротивления стен при действии вертикальных и горизонтальных сил. Выявлены закономерности изменения разрушающих поперечных усилий, схем и усилий образования трещин, схем разрушения, а также характер распределения напряжений в зависимости от изменения изучаемых факторов.

Произведена классификация трещин, образуемых в бетоне и кирпичной кладке армированных и неармированных стен различной высоты при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил. Критерии классификации трещин принимались на основе анализа напряженно-деформированного состояния стен. Была получена следующая классификация трещин.

При преобладании вертикальной нагрузки, когда горизонтальная сила близка к нулю, образуются трещины Т-С, которые имеют почти вертикальные траектории и разделяют стены на отдельные столбики. При совместном действии вертикальных и горизонтальных сил с соотношениями, близкими к единице, в стенах образуются наклонные трещины Т-Г (рис. 1), по сути, выделяющие условные полосы, в пределах которых концентрируются главные сжимающие напряжения. Перед разрушением в стенах в диагональном направлении образуются магистральные трещины Т-О (см. рис. 1), которые располагаются внутри вышеописанной наклонной полосы, такой вид трещин является критическим и характеризует разрушение полосы в результате среза.

При больших уровнях вертикальной нагрузки и значительных горизонтальных силах образовывается серия наклонных прерывистых трещин Σ Т-С (см. рис. 1), которые располагаются в основании или внутри условной сжато-растянутой наклонной полосы и являются признаком её разрушения. При вертикальной нагрузке, близкой к нулю, в стенах образуются значительные зоны растяжения, в пределах которых образуются трещины Т-Р (см. рис. 1) с траекториями, почти перпендикулярными к боковой растянутой грани стены.

При изменении высоты стены приведенная выше классификация трещин не изменяется. Изменяется угол наклона характерных трещин и в низких стенах отмечается увеличение их количества в два и более раза (см. рис. 1).

Наличие полевого или контурного армирования в стенах не нарушает приведенную выше классификацию трещин. В то же время следует отметить, что армирование изменяет их траекторию, в результате чего магистральные трещины искривляются и приобретают дугообразный характер, их развитие сопровождается образованием по берегам коротких, мелких трещин, характерных для местного раздробления бетона или каменной кладки (см. рис. 1).

Выявлено четыре схемы разрушения. Разрушение стен в результате разрушения наклонной сжатой полосы при активном образовании граничных трещин Т-Г, выделяющих наклонную полосу, и внезапном образовании перед разрушением стен быстрорастущей диагональной трещины Т-О внутри выделенной полосы. Такой вид разрушения квалифицирован как диагональный срез сжатой наклонной полосы. Разрушение стен в результате разрушения наклонной сжатой полосы при активном развитии серии прерывистых параллельных наклонных трещин, ориентированных на вершину опорного угла. Разрушение сжатых стен при $Q=0$ в результате развития в стенах поперечных деформаций, которое начинается с разделения стены на вертикальные полосы и заканчивается последующим их разрушением в результате потери устойчивости. Разрушение стен в результате разрушения растянутой зоны при активном раскрытии горизонтальных трещин Т-Р, расположенных в растянутой зоне вдоль опорного сечения стен.

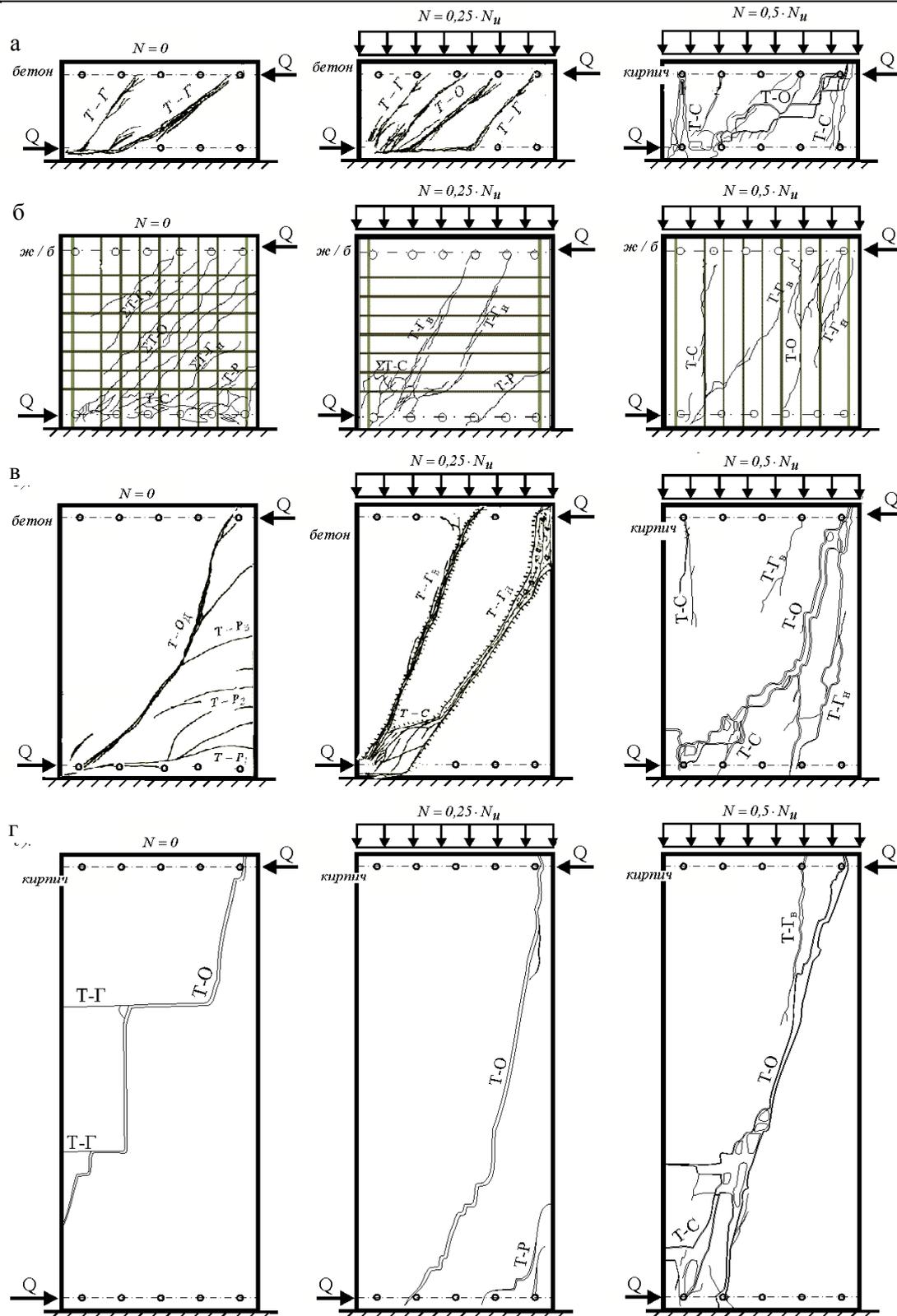


Рис. 1. Схемы образования характерных трещин. Виды разрушения:

а – $H/L=0,5$; б – $H/L=1,0$; в – $H/L=1,5$; г – $H/L=2,5$;

Т-Г – граничные трещины; Т-О – основная диагональная трещина;

Т-Р – трещины в растянутой зоне; Т-С – трещины сжатия

Реализация описанных выше видов разрушений зависит от величины вертикальной нагрузки. При отсутствии и появлении незначительной величины вертикальной нагрузки разрушение стен происходит либо в результате разрушения растянутой зоны

при активном развитии почти горизонтальных трещин, либо в результате среза условной наклонной полосы по диагональной трещине. С увеличением вертикальной нагрузки разрушение стен вначале происходит в результате раздробления бетона или каменной кладки выделенной наклонной полосы при активном образовании в её опорной зоне мелких трещин, а затем, при значительных вертикальных нагрузках, в результате разрушения стен при центральном или внецентренном сжатии. При увеличении соотношения высоты и длины стен от 0,5 до 2,5 раза в схемах разрушения изменяется количество характерных трещин. В высоких стенах при увеличении соотношения высоты и длины до 2,5 их количество уменьшается до одной, а в низких стенах при уменьшении соотношения высоты и длины до 0,5 увеличивается в два и более раза.

Выявлено, что усилие образования трещин и разрушающие поперечные усилия изменяются с изменением уровня вертикальной нагрузки и соотношения высоты и длины стен. Закономерность изменения разрушающих поперечных усилий при увеличении вертикальной нагрузки носит криволинейный характер и соответствует выпуклой кривой в направлении ординаты поперечных усилий. С увеличением вертикальной нагрузки до $N=0,5 N_u$ разрушающая поперечная сила возрастает до максимальной величины, а затем постепенно снижается. Закономерность изменения поперечных усилий при увеличении высоты стен также имеет криволинейный характер и соответствует экспоненте с максимальными значениями в низких стенах.

На основе численного метода получена обширная информация о характере НДС стен при изменении исследуемых факторов. Установлено, что характер распределения эпюр напряжений зависит от величины вертикальной нагрузки (рис. 2).

Распределение напряжений σ_x при $N=0$ характеризуется наличием четырех X-образно расположенных сжатых и растянутых зон, которые образуются линиями с нулевыми напряжениями. При появлении вертикальных сил линии нулевых напряжений становятся наклонными и с ростом вертикальной нагрузки удаляются друг от друга, образуя замкнутые контуры в верхней и нижней части панели. При этом увеличивается величина контуров сжимающих напряжений (рис. 2,а).

Эпюры напряжений σ_y являются двузначными и при $N=0$ делят поверхность стены на две симметричные зоны – сжатия и растяжения. Вертикальная нагрузка резко изменяет положение нулевой линии, которая приобретает криволинейное очертание и смещается в сторону боковой грани панели, в результате чего увеличивается сжатая зона эпюры σ_y (рис. 2,б).

Линии максимальных значений касательных напряжений τ_{xy} независимо от наличия вертикальной нагрузки располагаются вдоль диагонали в виде зигзагообразной линии, прогнозируя места образования и характер развития трещин. Появление и увеличение вертикальной силы увеличивает средний угол наклона линии максимальных касательных напряжений (рис. 2,в). Распределение главных напряжений (σ_1 ; σ_2) характеризуется концентрацией их траекторий в пределах наклонных участков, расположенных веерообразно относительно вершин опорных углов стеновых панелей. С увеличением вертикальной силы увеличивается зона сжимающих напряжений и изменяется угол наклона их траекторий от 40 до 70° (рис. 2,г).

Пилообразный характер линий равных напряжений в армированных стенах позволяет утверждать, что арматура препятствует свободному развитию деформаций, укорочения и удлинения напряженных зон стен. Степень участия соответствующей арматуры в работе стен определяется величиной угла, образуемого осью арматурных стержней и основным направлением траекторий главных напряжений.

Исследованиями установлено, что армирование железобетонных и кирпичных стен повышает их прочность и трещиностойкость в 1,3–2,0 раза. Опытами предусматривалось изучить степень участия горизонтальной и вертикальной арматуры в работе стен при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил. Результаты исследований приведены на рис. 3 в виде графиков эффективности раздельной работы стержней и в составе сетки при изменении вертикальной нагрузки.

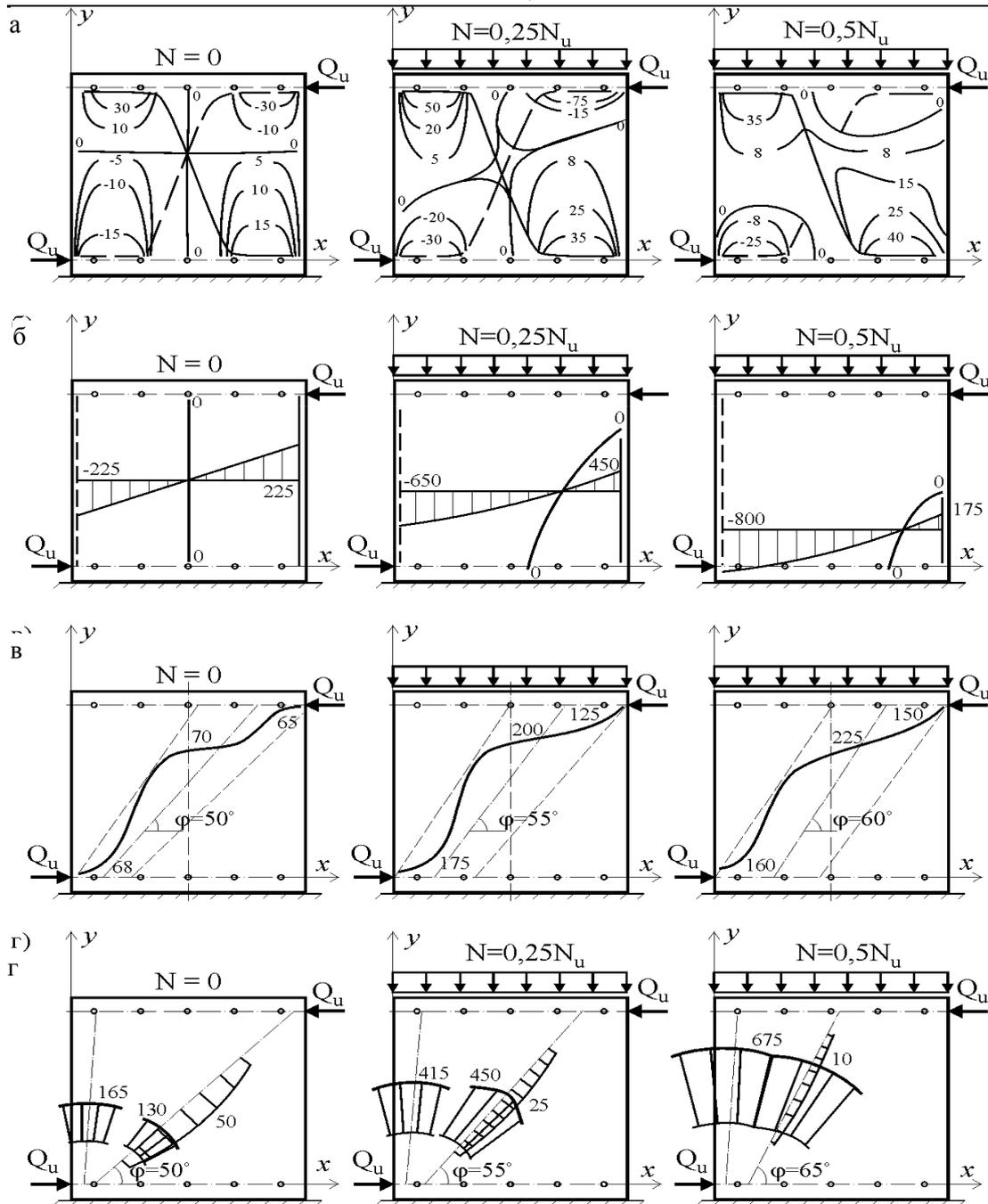


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние стен:
 а – линии напряжений σ_x ; б – линии напряжений σ_y ;
 в – линии напряжений τ_{xy} ; г – эпюры главных напряжений

При небольших значениях или отсутствии вертикальной силы наиболее эффективными в работе стен являются горизонтальные стержни (график 1 рис.3). С увеличением вертикальной нагрузки их эффективность резко снижается и повышается эффективность вертикальных стержней (график 2 рис. 3). Работа стержней в составе сетки (график 3 рис.3) эффективней, чем суммарный результат их отдельной работы, причем наибольшая эффективность работы стержней в составе сетки соответствует моменту, когда вертикальная нагрузка равна или близка к нулю.

На основе факторного анализа результатов физического и численного экспериментов было установлено, что разрушение стен при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил в первую очередь зависит от вертикальной нагрузки и от соотношения размеров сторон. Изменение этих факторов приводит к модификации схем напряженного состояния стен, изменению углов наклона главных сжимающих и растягивающих напряжений. В результате этого происходит плавный переход от

работы стен при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил к работе на действие одной из указанных сил. Закономерность влияния указанных факторов на величину разрушающих поперечных усилий хорошо описывает зависимость пространственной поверхности, построенная в координатах вертикальных, горизонтальных сил и при соотношении размеров сторон (рис. 4).

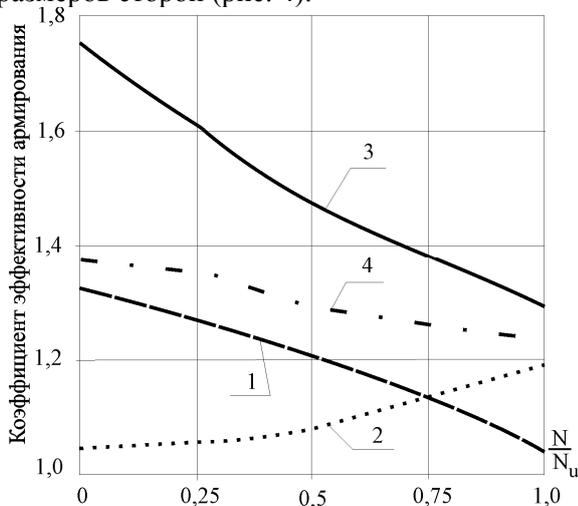


Рис. 3. Графики эффективности использования вертикальных и горизонтальных стержней отдельно и в составе сетки:

1 – горизонтальные стержни; 2 – вертикальные стержни; 3 – сетка; 4 – сумма графиков 1 и 2

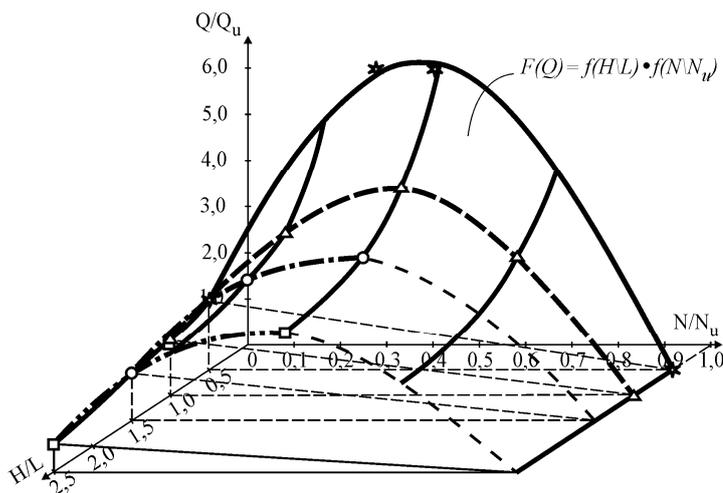


Рис. 4. Зависимость пространственной поверхности закономерности изменения поперечных разрушающих усилий от совместного изменения высоты стен и вертикальной нагрузки

С помощью методов математического анализа для поверхности была получена функция, которая позволяет использовать закономерность совместного влияния вертикальной нагрузки и соотношения размеров сторон в расчетных зависимостях при разработке методов расчета прочности стен.

$$F(Q) = f(H/L) \cdot f(N/N_u),$$

где $f(H/L) = w \cdot e^{-H/L} + c$ – функция, учитывающая влияние высоты стены на прочность при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил;

$f(N/N_u) = v \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{N}{N_u}\right) - k \cdot \left(\frac{N}{N_u} - 1\right)$ – функция, учитывающая влияние вертикальной

нагрузки на прочность стен при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил; $w = 4,7$, $c = 1,5$, $v = 1,3$ и $k = 0,35$ – безразмерные коэффициенты.

Эту поверхность можно считать экспериментальным критерием прочности стен при действии вертикальных и горизонтальных сил.

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

Гучкин Игорь Сергеевич,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Булавенко Вячеслав Олегович,
аспирант, старший преподаватель кафедры
«Строительные конструкции»
E-mail: Bulavenko.slava@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

Guchkin Igor Sergeevich,
Candidate of Sciences, Professor of the
department «Building constructions»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Bulavenko Vyacheslav Olegovich,
Postgraduate, Senior Lecturer of the
department «Building constructions»
E-mail: Bulavenko.slava@yandex.ru

ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ БАЛОК ПО ФИКСИРОВАННЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ПРОГИБА, ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН И РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ТРЕЩИНАМИ

И.С. Гучкин, В.О. Булавенко

Приводятся результаты анализа напряженно-деформированного состояния сечения эксплуатируемой балки по данным натурного обследования, включающим фиксированные значения прогиба, ширины раскрытия трещин и расстояния между трещинами. Даются рекомендации по оценке степени опасности достигнутых деформаций в арматуре и бетоне.

Ключевые слова: железобетонная балка, обследование, трещиностойкость, деформации арматуры и бетона, диаграммы состояния арматуры и бетона.

EXPLOITED BEAM STATE EVALUATION UNDER FIXED BUCKLING, CRACK OPENING WIDTH AND DISTANCE BETWEEN CRACKS

I.S. Guchkin, O.V. Bulavenko

The analysis of the stress-strained section state of the exploited beams, according to the full-scale survey including fixed values of buckling, crack opening width and distance between the cracks are described. The recommendations on the hazard assessment of achieved deformation in reinforced and concrete.

Keywords: reinforced concrete beam, inspection, crack resistance, deformation of reinforcement and concrete, state diagram reinforcement and concrete.

В процессе эксплуатации балки, особенно стропильные, часто испытывают перегрузку из-за образования на крыше снеговых мешков, наледи, из-за увлажнения утеплителя и в результате подвески кранового оборудования, не предусмотренной проектом. Вследствие чего в растянутой зоне балок образуются широко раскрытые трещины. Если напряжения в арматуре не превышали предела текучести, то после снижения нагрузки трещины, как правило, закрываются. В противном случае они остаются широко раскрытыми, и возникает вероятность не только интенсивной коррозии арматуры, но и внезапного обрушения балки. Опасной также является перегрузка балки для сжатой зоны бетона, причем на поверхности балки явные признаки перегрузки могут и отсутствовать, однако вероятность внезапного обрушения будет достаточно высокой.

Чтобы оценить действительное напряженное состояние сечения балки и резерв ее несущей способности, необходимо установить величины достигнутых в результате перегрузки деформаций растянутой арматуры и сжатого бетона и сопоставить их с предельно допустимыми.

Выполненные исследования показывают, что установить величину и степень опасности ранее достигнутых деформаций в арматуре и бетоне можно экспериментально-теоретическим методом, используя для этого диаграммы состояния арматуры и бетона, содержащиеся в СП 52-101-2003, а также результаты натурного обследования балки, а именно значения ширины раскрытия трещин a_{crc} , измеренной на уровне центра тяжести рабочей арматуры; расстояния между трещинами l_s и прогиба балки f .

Средние деформации растяжения арматуры определяются по формуле $\varepsilon_{sm} = a_{crc} / l_s \cdot \varphi_1 \varphi_2$, где значения коэффициентов принимаются равными: $\varphi_1 = 1$ – при кратковременном действии нагрузки; $\varphi_1 = 1,4$ – при длительном действии нагрузки; $\varphi_2 = 0,5$ – для арматуры периодического профиля; $\varphi_2 = 0,8$ – для арматуры гладкого профиля. При наличии только одной трещины величину ε_{sm} можно найти из выражения (144) СНиП 2.03.01-84*.

Средние деформации сжатия бетона над трещинами находятся по формуле

$$\varepsilon_{bm} = \frac{\frac{1}{r} h_0 - \varepsilon_{sm}}{\varphi_l},$$

где $\varphi_l = 1$ – при кратковременном действии нагрузки; $\varphi_l = 0,8$ – при длительном действии нагрузки; h_0 – рабочая высота сечения.

Кривизна балки определяется по формуле

$$\frac{1}{r} = \frac{f}{Sl_0^2},$$

где $S = \frac{5}{48}$ – при равномерно распределенной нагрузке; $S = \frac{1}{12}$ – при сосредоточенной нагрузке; l_0 – расчетная длина балки; f – прогиб балки.

Результаты поверочных расчетов средних деформаций арматуры и бетона для балок с расчетной длиной 3; 4 и 5 м, полезной высотой сечения 0,3 м, армированных стержнями класса А-III и при действии кратковременной нагрузки, представлены на рис.1 и 2.

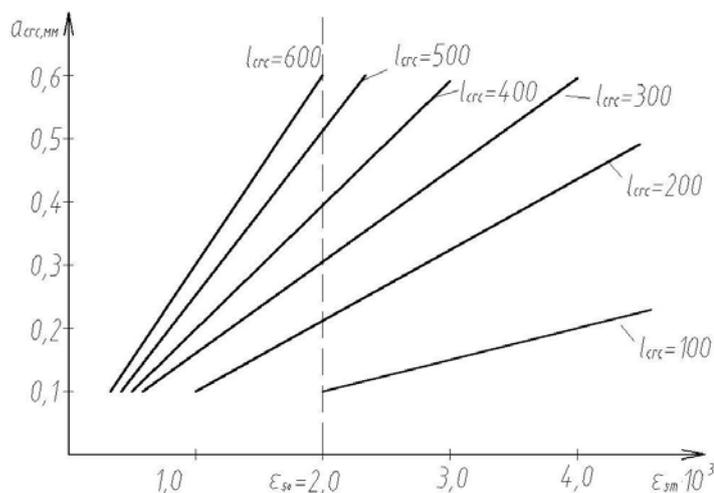


Рис.1. Зависимость деформации арматуры от ширины трещин и расстояния между трещинами

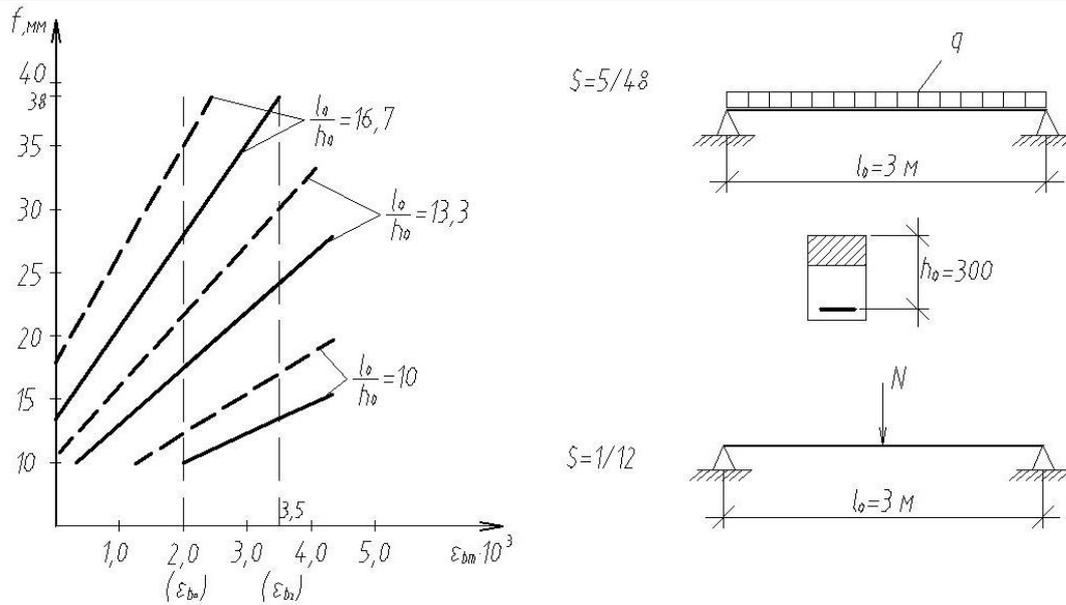
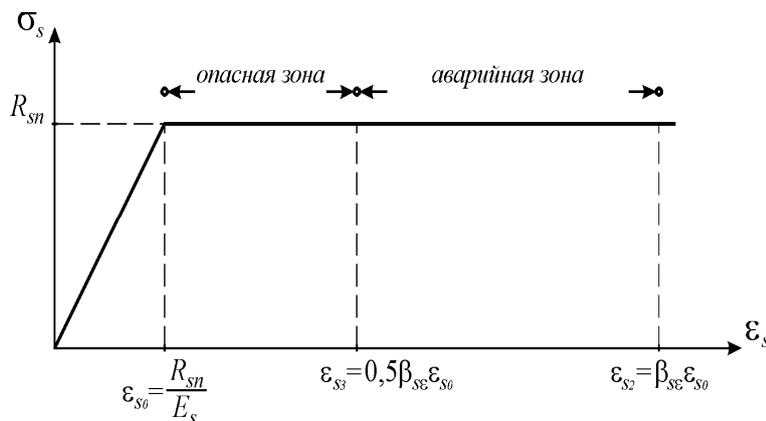


Рис.2. Зависимость деформации сжатия бетона от прогиба балки и длины пролета при $\varepsilon_{s_0} = 0,002$:

— — нагружение сосредоточенной нагрузкой;
 --- — нагружение равномерно распределенной нагрузкой

Из графиков, приведенных на рис.1, видно, что относительные средние деформации растяжения арматуры в значительной степени зависят от параметров трещины a_{cr} , l_s и могут достигать предельного значения $\varepsilon_{s_0} = 0,002$ при ширине раскрытия трещины как 0,6 мм, так и 0,1 мм. С сокращением расстояния между трещинами уменьшается и требуемая для достижения ε_{s_0} ширина раскрытия трещины.

Из графиков (см. рис.2) следует, что относительная средняя деформация бетона зависит от величины прогиба балки и может достигать предельного значения $\varepsilon_{b_0} = 0,002$ в диапазоне показателей жесткости балки $l_0/h_0 = 10...16,7$. С уменьшением показателей жесткости уменьшается и требуемая для достижения ε_{b_0} величина прогиба балки. При одинаковой величине прогиба ε_{b_0} достигается раньше в балках, нагруженных сосредоточенной силой в центре пролета.



$\beta_{se} = 40$ – для арматуры класса А-I; $\beta_{se} = 30$ – для арматуры класса А-II;

$\beta_{se} = 20$ – для арматуры класса А-III

Рис. 3. Расчетная диаграмма состояния арматуры классов А-I...А-III при растяжении

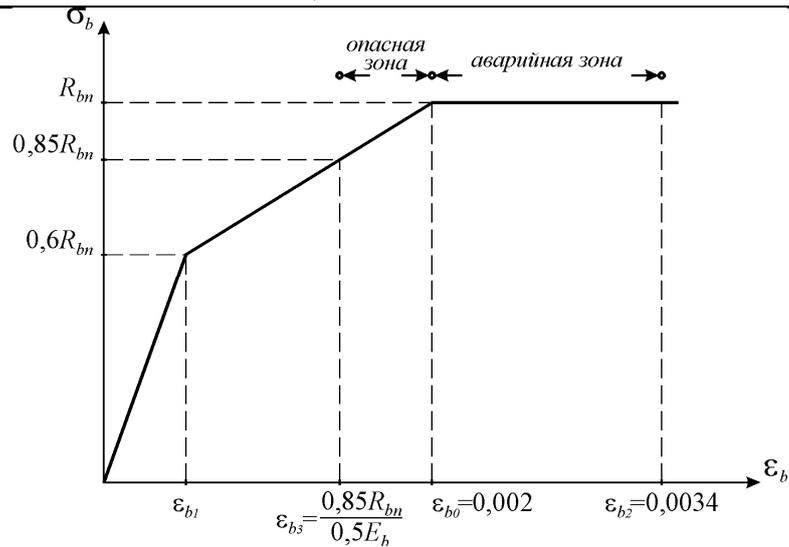


Рис. 4. Расчетная диаграмма состояния бетона при сжатии

Следует отметить, что при длительном действии нагрузки и арматуре гладкого профиля предельные значения относительных деформаций арматуры и бетона достигаются раньше.

Для оценки физического состояния балки с позиций резерва несущей способности установлены контрольные значения и диапазоны достигнутых деформаций в арматуре и бетоне, приведенные на рис. 3,4.

Результаты выполненных исследований позволяют обоснованно назначать режим эксплуатации балки и метод ее усиления.

Список литературы

Гучкин, И.С. Техническая эксплуатация и реконструкция зданий / И.С. Гучкин. – М.: Изд-во АСВ, 2009.

References

Guchkin, I.S. Technical operation and renovation of buildings / I.S. Guchkin. – M.: Publishing House of the DIA, 2009.

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 «Технология бетонов, керамики
и вяжущих»

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 Sciences, Associate Professor of
the department «Technology of Building»

Kalashnikov Vladimir Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Technology of concrete,
ceramics and buildings»

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

ВАРИАНТНЫЙ И КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОДЫ АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ КОЛОНН В СТОЙКАХ КАРКАСОВ ЗДАНИЙ

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

Рассматривается применение двух уточненных инженерных методов расчета устойчивости колонн из высокопрочных материалов.

Ключевые слова: стержневые конструкции, стойки каркасов зданий, колонны из стали и высокопрочных бетонов, особенности расчета, варианты расчета.

ALTERNATIVE AND COMBINED METHODS OF COLUMNS STABILITY ANALYSIS IN RACKS OF BUILDING FRAMEWORKS

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

Application of two specified engineering methods for calculation of stability of columns made of highly durable materials is considered.

Keywords: rod designs, racks of buildings, frameworks steel and highly durable concrete columns, feature of calculation, calculation variants.

Сегодня на пути всеобщей компьютеризации проектных разработок одним из основных препятствий является низкое качество нормативной базы в области устойчивости колонн зданий. Она не соответствует уровню развития программного обеспечения. С другой стороны, база позволяет осуществлять расчеты по подбору сечений колонн, и полностью отказаться от нее нельзя.

Программное обеспечение позволяет выполнять проверки путем осуществления альтернативных деформационных расчетов. В мировой практике широко используются надежно работающие программные комплексы ANSYS, NASNRAN, SCAD, GTSTRUDL, LS DYNA. Большинство из них в России не сертифицировались. Сертификация затруднена во многом из-за несовершенств инженерного метода, основанного на современных базовых рекомендациях СП 53-102-2004.

О недостатках в своде правил СП 53-102-2004 по расчету устойчивости колонн пишут, например, ведущие ученые-практики – А.В. Перельмутер, д.т.н., иностранный член РААСН (SCAD Soft, г. Киев), и В.И. Сливкер, д.т.н., проф. (Гипростроймост, г. Санкт-Петербург). Они отмечают, что в докомпьютерный период выполнения проектных работ расплывчатые, неоднозначно трактуемые рекомендации хотя и были злом, но это зло носило не столь опасный характер. Сейчас формальное следование

Нормам в программном комплексе спрятано от глаз пользователей, а однозначная трактовка пунктов нормативной базы нужна прежде всего разработчикам программных комплексов.

Для колонн из высокопрочных материалов устойчивость, часто при центральном сжатии, является определяющим фактором. Однако прикладной метод расчета по этому фактору неточен. Например, при проектировании стальных колонн используются коэффициенты снижения расчетного сопротивления φ и расчетных длин (характеристики устойчивости) μ_j . Характеристики μ_j получают рассмотрением упругих систем, поэтому они обозначены $\mu_{j,уп}$. А коэффициенты φ , в том числе и уточненные φ^* в СП 53-102–2004, получают расчетом шарнирно закрепленных по концам эталонных стержней, но в упругопластической стадии работы. Из-за несоответствия в постановках задач для стержневых систем, с одной стороны, и для стержней, с другой, нормативная база имеет существенные огрехи и требует совершенствования.

Цель работы и задачи исследования. Цель заключается в развитии прикладной теории по определению характеристик устойчивости для двухъярусных стержневых конструкций и на ее основе в совершенствовании практических методов расчета для повышения надежности инженерных решений при проектировании сплошностенчатых колонн в составе центрально-сжатых стоек каркасов зданий с количеством этажей два и более.

В соответствии с целью задачами исследований являются:

- обоснование необходимости развития теории и совершенствования методов расчета устойчивости колонн, совместно работающих в неразрезных центрально-сжатых стойках каркасов зданий;
- теоретическое обоснование предлагаемого метода расчета устойчивости при определении уточненных (упругопластических) коэффициентов $\mu_{j,пл}$ для колонн центрально-сжатых неразрезных стоек с ограниченной гибкостью ($\lambda_{j,max} < 150$) в стальных каркасах зданий;
- аналитическая оценка ранее проведенных исследований и методов расчета колонн при определении упругих (приближенных) характеристик устойчивости $\mu_{j,уп}$ – сопоставлением с характеристиками $\mu_{j,пл}$;
- разработка уточненного проектировочного метода, основанного на использовании коэффициентов $\mu_{j,пл}$ при расчете устойчивости;
- совершенствование инженерного метода расчета устойчивости при проектировании сплошностенчатых колонн в многоэтажных каркасах зданий;
- оценка ресурсосберегающей эффективности предлагаемых двух методов проектировочных расчетов при новом строительстве и реконструкции центрально-сжатых стоек в каркасах зданий и сооружений.

В данной статье представлены результаты решения трех последних задач. Предлагаются два новых проектировочных метода: вариантный и комбинированный. Вариантный метод применим для двухэтажных конструкций ($j = 2$).

Когда $j > 2$, используем комбинированный метод, представляющий собой сочетание предлагаемого метода вариантов и известного приема снятия связей. Прием вытекает из теоремы Я.Л. Нудельмана с учетом имеющихся в [1–3] заключений: распределение материала по конструкциям без ригелей, в строгом соответствии с коэффициентами свободных длин $\mu_{j,т}$, являющимися одной из разновидностей характеристик устойчивости $\mu_{j,уп}$, не влечет за собой излишнего ресурса; распределение согласно коэффициентам свободных длин $\mu_{j,т}^*$, получаемым еще и в предположении равномерного (по 50 %) влияния ригеля на устойчивость рамы в ее соседних ячейках, не приводит к существенному завышению ресурса устойчивости.

При вычислении коэффициентов $\mu_{j,т}$ рассматривают не всю систему, а ее фрагменты, образуемые приемом удаления “лишних” связей. Например, для несвободной стойки (рис. 1,в) расчетную схему без шарнира между колоннами (рис. 1,а) заменяют шарнирной схемой, изображенной на рис. 1,б.

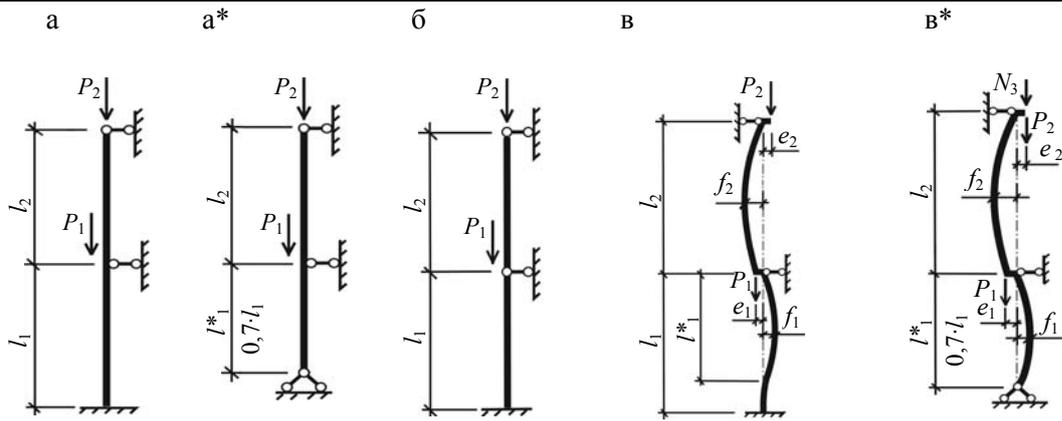


Рис.1. Схемы двухъярусной стержневой конструкции:

а – неразрезная совершенная стойка, защемленная в фундаменте (для определения $l_{j,пр}$);
 а* – эквивалентная стойка (для вычисления $l_{j,пр}^*$); б – разрезная совершенная стойка с жестким примыканием к фундаменту (для определения $l_{j,т}$); в – защемленная стойка с малыми начальными несовершенствами (для деформационных расчетов по любой из известных программ, например КАССАНДРА); в* – то же, эквивалентная шарнирно опертая стойка, в которой $N_3 = 0$

При проектировании комбинированным методом нужно из многоэтажной конструкции выделять двухъярусные фрагменты, т.е. проводить трансформацию ее расчетной схемы по аналогии с известным приемом удаления связей.

В основу комбинированного и вариантного методов положен принцип соответствия собственных $\mu_{j,соб}$ и предлагаемых $\mu_{j,пл}$ коэффициентов, т.е. равенство

$$\mu_{j,соб} = \mu_{j,пл} \quad (1)$$

В инженерных расчетах следует принимать $\mu_{1,пл} = \mu_{1,соб}$, а $\mu_{2,пл}$ вычислять с помощью компьютера, пользуясь разработанным алгоритмом. Можно использовать готовые данные. Номограмму (рис. 2) нужно применять, ориентируясь на расчетную схему (рис. 1,а*), эквивалентную исходной схеме стойки (см. рис. 1,а).

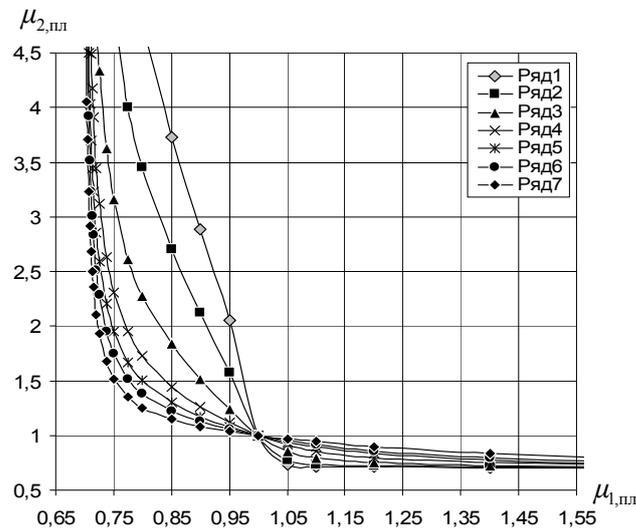


Рис. 2. Номограмма коэффициентов $\mu_{j,пл}$:
 ряды 1 – 7 соответствуют соотношениям l_2N_2/l_1N_1
 со значениями 0,05; 0,10; 0,25; 0,50; 0,75 ;1,00 ;1,50

Предлагаемые проектировочные методы рассмотрим на двух примерах.

Пример 1. Требуется без излишнего запаса обеспечить устойчивость конструкции в виде четырехъярусной стойки, которая загружена однопараметрически. В стойке колонны из широкополочных двутавров по ГОСТ 26020-83 имеют малые начальные несовершенства, учтенные СП при определении табличных значений коэффициента φ^* .

Схема стержневой конструкции изображена на рис. 3. Параметры поперечных сечений колонн даны в подрисовочной подписи. Высоты ярусов (этажей) одинаковы – $l_j = 6$ м. Материал – сталь 09Г2С с расчетным сопротивлением $R_y = 300$ МПа, модуль упругости $E_j = 206$ ГПа. На стойку увеличивается нагрузка. Усилия N_j составляют: $N_4 = P_4 = 1472$ кН; $N_3 = P_3 + P_4 = 1929$ кН; $N_2 = N_3 + P_2 = 2538$ кН; $N_1 = N_2 + P_1 = 3675$ кН.

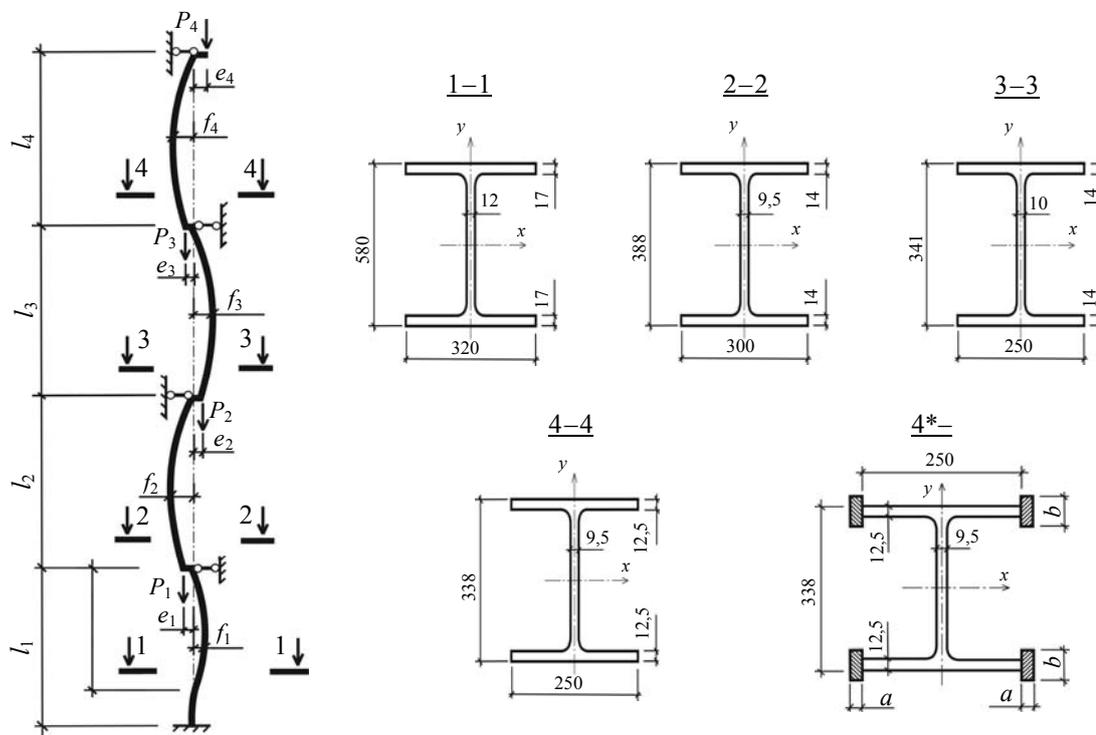


Рис. 3. Расчетная схема четырехъярусной несовершенной стойки:

1–1 – сечение колонны первого этажа из двутавра 60 Ш1 ($J_y = 9302$ см⁴, $A = 181,1$ см²);
 2–2 – то же второго 40Ш1 ($J_y = 6306$ см⁴, $A = 122,4$ см²); 3–3 – третьего 35Ш2 ($J_y = 3650$ см⁴,
 $A = 104,70$ см²); 4–4 – четвертого 35Ш1 ($J_y = 3260$ см⁴, $A = 95,67$ см²); 4*–4* – увеличенное
 сечение верхней колонны ($a = 14$ мм; $b = 69$ мм; $J_y = 9993$ см⁴, $A_4 = 134,3$ см²)

Результаты различных поверочных расчетов, выполненных по ходу достижения поставленной в примере 1 цели, приведены в табл. 1. После деформационного расчета стойки по известной программе КАССАНДРА коэффициент ресурса (запаса) устойчивости η_p , вычислялся по формуле

$$\eta_p = N_{j,п} / N_j, \quad (2)$$

где N_j – расчетная нагрузка на j -ю колонну ($N_j = N_j^* / \gamma_c$); $N_{j,п}$ – предельная нагрузка, определяемая деформационным расчетом системы в целом.

При принятии решений, описанных в последней графе табл. 1, проверка равенства (1) для фрагментов показала, что внизу стойки оно соблюдается с достаточной точностью без проведения каких-либо мероприятий, так как $\mu_{1,собр}^* = 1,226$ и $\mu_{2,собр} = 0,84$, а когда $\mu_{1,пл}^* = 1,226$ величина коэффициента $\mu_{2,пл}$ по номограмме составляет 0,85. Вверху стойки благоприятный результат достигнут после увеличения сечения колонны четвертого этажа согласно разрезу 4*–4* (см. рис. 3): $\mu_{3,собр} = 0,781$ и $\mu_{4,собр} = 1,65$, а при $\mu_{3,собр} = \mu_{1,пл}^* = 0,781$ коэффициент $\mu_{2,пл}$ (т.е. $\mu_{4,пл}$) равен 1,63.

В примере 1 показано, что местное усиление несвободной стойки может приводить к повышению ресурса устойчивости на 13%. После локального усиления стойки выполнен ее деформационный расчет по программе КАССАНДРА. Установлено соответствие нагрузок $N_j = N_{j,д}$ и $N_{j,п}$.

Т а б л и ц а 1

Маркировка усиливаемых колонн (X) в стойке

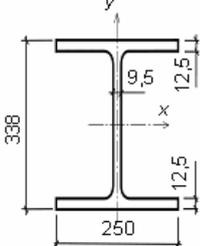
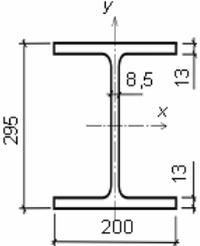
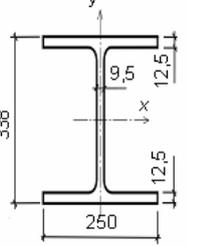
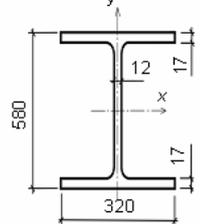
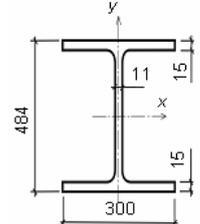
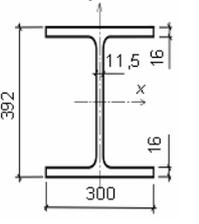
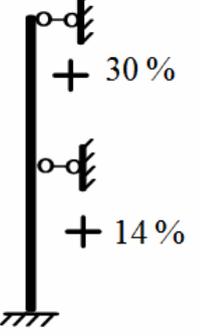
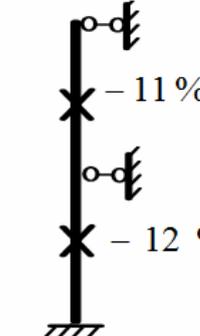
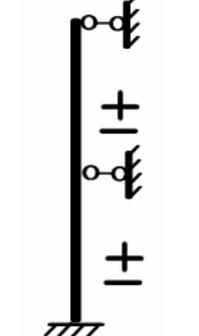
№ этажа	Результаты поверочных расчетов			
	по программе КАСАНДРА	известным инженерным методом		комбинированным методом по $\mu_{j,пл}$
		по $\mu_{j,т,н}$	по $\mu_{j,пр}$	
4	Вся конструкция требует усиления: $\eta_p = N_{j,н}/N_j = 0,885$	$\mu_4 = 1,0$: перегрузка -14 % X	$\mu_4 = 0,959$: перегрузка -7 % X	В верхней части требуется усиление одной из двух колонн.
3		$\mu_3 = 1,0$: перегрузка -34 % X	$\mu_3 = 0,886$: перегрузка -13 % X	
2		$\mu_2 = 1,0$: перегрузка -17 % X	$\mu_2 = 1,016$: перегрузка -19 % X	В нижней двухъярусной части устойчивость обеспечена, и сверхнормативного ресурса нет: $\mu_{j,пл,н} = \mu_{j,ф,н}$ ±, ±
1		$\mu_1 = 0,7$: недогрузка +14 %	$\mu_1 = 0,718$: недогрузка +13 %	
Маркировка				

Пр и м е р 2. Спроектировать колонны из двутавров по сокращенному сортаменту (ГОСТ 26020–83). Они работают в двухъярусной стойке, имеющей малые начальные несовершенства – см. расчетную схему на рис. 1,в или 1,в*. Изгибающие моменты в плоскости наибольшей жесткости конструкции не превышают моментов $N_j r_j / 20$ (r_j – радиус инерции сечения), обусловленных случайными эксцентриситетами приложения нагрузок, то есть коэффициент $C = 1,0$ (см. СНиП II-23-81*, формулу (56) – аналогичная формула имеется в СП 53-102-2004). Усилия в элементах стойки (см. рис. 1,в): $N_2 = 1269$ кН; $N_1 = N_2 + P_1 = 2963$ кН (в эквивалентной схеме, изображенной на рис. 1,в*, $N_3 = 0$). Высоты этажей: $l_1 = 8$ м (в схеме, показанной на рис. 1,в*, $l_1^* = 5,6$ м); $l_2 = 4,6$ м. Расчетное сопротивление материала $R_y = 300$ МПа, модуль упругости $E_j = 206$ ГПа.

Варианты сечений колонн приведены в табл. 2.

При компоновке в колоннах поперечных сечений, изображенных в последней графе табл.2, применен метод вариантов в чистом виде с переходом к эквивалентной расчетной схеме. В колонне первого этажа назначено сечение из двутавра 40Ш2 (площадь $141,6$ см², $r_2 = 7,14$ см) взамен 60Ш1. По формулам Норм определено: $\mu_{1,собр} = 0,91$. Приравняв $\mu_{1,собр} = \mu_{1,пл}^*$, для схемы, изображенной на рис. 1,а*, по данным номограммы нашли: $\mu_{2,пл} = 1,326$. Проверка сечения колонны второго этажа показала, что его (двутавр 35Ш1) достаточно.

Таблица 2

№ этажа	Сечения колонн в стойке, полученные			
	известным инженерным методом:		новым (вариантным) методом	
	по $\mu_{j,т.н.}$: $\mu_2 = 1,0$, $\mu_1 = 0,7$	на один типоразмер меньше		
2	$35Ш1, A_2 = 95,67 \text{ см}^2$ 	$30Ш2, A_2 = 77,65 \text{ см}^2$ 	$35Ш1, A_2 = 95,67 \text{ см}^2$ 	
1	$60Ш1, A_1 = 181,1 \text{ см}^2$ 	$50Ш1, A_1 = 145,7 \text{ см}^2$ 	$40Ш2, A_1 = 141,6 \text{ см}^2$ 	
Результаты расчетов	Количественные и качественные показатели	Недогрузка 	Перегрузка 	Без лишнего ресурса 
	Запас η_p	1,22	0,895	1,007

В связи с перспективой широкого внедрения прогрессивной системы коэффициентов $\mu_{j,пл}$ напрашивалась необходимость дополнительного сравнения новых данных с другими известными результатами. Цель такого вспомогательного исследования, результаты которого представлены в работе [4], состояла в получении максимально надежной оценки погрешности предлагаемых инженерных методов.

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 в предшествующих работах [1–4].

Выводы

1. При реконструкции стоек многоэтажных каркасов зданий с помощью уточненных характеристик $\mu_{j,пл}$ удастся обосновать повышение ресурса устойчивости на 10 % и более за счет местного усиления одной из колонн. Такое конструктивное

решение позволяет экономить до 30 % конструкционного материала. Одновременно уменьшаются затраты трудовых ресурсов.

2. В новом строительстве применение коэффициентов $\mu_{j,пл}$ позволит сэкономить в отдельных случаях более 15 % материала. Иногда, наоборот, из-за обоснованной необходимости повышения ресурса устойчивости расход потребует увеличить.

3. Достигается уменьшение материалоемкости с сохранением нормативной надежности по СНиП II-23–81* или СП 53-102–2004. От экономии материала можно отказаться в пользу увеличения ресурса устойчивости, снизив значение коэффициента условий работы γ_c с 0,95 до 0,80.

4. В стержневых конструкциях, спроектированных по предлагаемым методам, следует ожидать весьма малое завышение ресурса устойчивости. Максимальная погрешность между $N_j = N_{j,д}$ и $N_{j,ф}$ при строгом соблюдении равенства (1) составляет +2,3 %.

Список литературы

1. 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.
2. Иващенко, А.М. Вариационный анализ характеристик устойчивости стальных колонн в несмещаемых рамах / А.М. Иващенко // Изв. вузов. Строительство. – 2008. – № 9. – С. 109–114.
3. Иващенко, А.М. Анализ характеристик устойчивости стальных колонн в свободных рамах / А.М. Иващенко // Изв. вузов. Строительство. – 2009. – № 5. – С. 102–108.
4. Иващенко, А.М. К вопросу внедрения метода вариаций в инженерную методику расчета устойчивости стальных колонн / А.М. Иващенко // Изв. вузов. Строительство. – 2006. – № 8. – С. 88–95.

References

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Ivaschenko, A.M. On the introduction of the method of variations in the engineering method of calculating the stability of steel columns / A.M.Ivaschenko//Izv. High schools. Stroitelstvo. – 2006. – № 8. – P. 88–95.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ENGINEERING SYSTEMS

УДК 628.33

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

Андреев Сергей Юрьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»

Тел.: 92-95-08 (доп. 11-88)

Гришин Борис Михайлович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
Тел.: 95-92-08 (доп. 11-88), 89063965775
E-mail: bgrishin@rambler.ru

Исаева Антонина Михайловна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»

Бикунова Марина Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»

Петрунин Алексей Алексеевич,
аспирант кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»

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

Andreev Sergey Yuryevich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
Tel.: 95-92-08 (доп. 11-88)

Grishin Boris Mikchailovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
Tel.: 95-92-08 (доп. 11-88), 89063965775
E-mail: bgrishin@rambler.ru

Isaeva Antonina Mikchailovna,
Associate Professor of the department «Water
supply, sewerage and hydraulic engineering»

Bikunova Marina Viktorovna,
Associate Professor of the department «Water
supply, sewerage and hydraulic engineering»

Petrinin Aleksey Alekseevich,
Postgraduate of the department «Water
supply, sewerage and hydraulic engineering»

К ВОПРОСУ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТРУБЧАТОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ФЛОКУЛЯТОРА

С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, А.М. Исаева, М.В. Бикунова, А.А. Петрунин

Приведены основные уравнения для гидравлического расчета трубчатых флокуляторов. Решение предложенных уравнений позволяет оптимизировать процесс смешения реагентов с водой и повысить эффект последующей очистки.

Ключевые слова: сточные воды, реагентная очистка, трубчатый гидродинамический флокулятор, гидравлический расчет.

TO THE QUESTION OF HYDRAULICS COMPUTATION OF PIPE HYDRODYNAMIC FLOCCULATOR

S.Yu. Andreev, B.M. Grishin, A.M. Isaeva, M.V. Bikunova, A.A. Petrunin

The basis equations for hydraulics computation of pipe flocculators are given. The solution of the suggested equations allows to optimize the reagents and water mixing process and to raise the effect of the following purification.

Keywords: waste water, reagent purification, pipe hydrodynamic, flocculator, hydraulics account.

Трубчатые гидродинамические флокуляторы предназначены для реагентной обработки сточных вод в условиях ламинарного движения.

Достоинствами данного типа флокуляторов являются высокая удельная производительность, небольшие размеры, низкая металлоемкость и строительные затраты, возможность использования их в стесненных условиях [1, 2].

Трубчатые флокуляторы выполняются из пакетов труб расчетной длины и диаметра. Различают линейные флокуляторы, выполненные из труб одинакового диаметра, и секционные флокуляторы, в которых диаметр труб от секции к секции увеличивается. Это позволяет последовательно изменять режим перемешивания жидкости. Для протекания процесса флокуляции необходимо создание оптимальных гидродинамических условий с заданной интенсивностью и длительностью перемешивания флокулянта в ламинарном потоке обрабатываемой воды.

Оптимальные гидродинамические условия, обуславливающие процесс флокуляции (формирование крупных и плотных хлопьев скоагулированных загрязнений), определяются конструктивными параметрами трубчатого флокулятора. Задача определения значений конструктивных характеристик трубчатого флокулятора сводится к установлению основных технологических параметров, от которых зависят условия процесса перемешивания в ламинарном потоке, – величины градиента скорости пристеночной области потока G^* и удельной диссипации энергии ϵ_* , связанной с касательным напряжением в характерных точках поперечного сечения.

Флокуляционной обработке подвергаются предварительно дестабилизированные в процессе коагуляции мелкодисперсные загрязнения природных и сточных вод.

В работе [1] рассмотрена кинетика коагуляции монодисперсных золь со сферическими частицами, которые сталкиваются между собой в результате броуновского движения. При коагуляции происходит взаимодействие только между двумя частицами, так как вероятность одновременного столкновения большего числа частиц очень мала. Такое представление процесса коагуляции позволяет формально применить к нему теорию бимолекулярных химических реакций.

Чтобы определить число столкновений между частицами, рассматривается диффузионный поток частиц через сферу, окружающую одну частицу, фиксированную в начале координат. Стационарный поток частиц, средняя концентрация которых в системе равна N_0 , через сферическую поверхность на разных расстояниях x от центра частицы, помещенной в начале координат, должен быть постоянным.

В соответствии с первым законом Фика, поток через сферическую поверхность площадью S выражается уравнением

$$J = DS \frac{dN}{dx} = D4\pi x^2 \frac{dN}{dx}, \text{ шт./с.} \quad (1)$$

Интегрируя уравнение (1), после разделения переменных в пределах от R_k до ∞ и от 0 до N_0 получим:

$$J = 4\pi DR_k N_0, \text{ шт./с.} \quad (2)$$

где R_k – радиус коагуляции или расстояние, на которое должны приблизиться центры частиц, чтобы произошло их слипание (м). По экспериментальным данным, в боль-

шинстве случаев $R_k = (2...2,4)r_c$ (r_c – радиус дисперсной частицы); D – коэффициент диффузии, m^2/c ; N_0 – средняя счетная концентрация частиц, шт./ m^3 .

Для частиц, не очень сильно различающихся по объему, произведение $4\pi DR_k$ считается константой (K – константа скорости коагуляции), m^3/c .

$$K = 4\pi DR_k, \quad (3)$$

Уравнение (2) можно записать в виде

$$J = KN_0, \text{ шт./с.} \quad (4)$$

В отличие от монодисперсной системы, где вероятность столкновения частиц учитывается константой $K=4DR_k$, в системе из двух видов частиц, заметно различающихся по размерам $r_{c,1}$ и $r_{c,2}$, эта вероятность пропорциональна следующей величине:

$$K = \left[4 + \left(\sqrt{\frac{r_{c1}}{r_{c2}}} - \sqrt{\frac{r_{c2}}{r_{c1}}} \right)^2 \right] DR_k, \text{ м}^3/\text{с.} \quad (5)$$

Для скорости изменения числа частиц вследствие их столкновений, сопровождающихся последующим слиянием, получено следующее выражение, соответствующее реакции второго порядка [3]:

$$\frac{dN_t}{dt} = -KN_t^2, \text{ шт./}(m^3 \cdot c). \quad (6)$$

При ортокинетической коагуляции транспортировка дисперсных частиц происходит под действием градиента скоростей, возникающим либо в ламинарном потоке жидкости, либо в результате турбулентных пульсаций скорости течения жидкости, имеющих место при турбулентном режиме течения жидкости.

При формировании хлопьев скоагулированных загрязнений на втором этапе реагентной обработки необходимо осуществлять низкоградиентное перемешивание при ламинарном режиме движения жидкости. В последнее время для этих целей стали широко применяться трубчатые гидродинамические флокуляторы. В этих устройствах основную роль играют процессы, протекающие на границе раздела «жидкость–корпус аппарата»; при этом большое значение имеют характеристики пограничного слоя, которые зависят от условий течения перемешиваемой среды в непосредственной близости к межфазовой поверхности.

В трубчатом флокуляторе на всем его протяжении поддерживается ламинарный или близкий к переходному режим движения жидкости.

В работе [3] представлена формула, описывающая скорость процесса коагуляции, обусловленного скоростным градиентом ламинарного потока жидкости G , c^{-1} :

$$\frac{dN_t}{dt} = -\frac{4}{3} GR_k^3 N_t^2; \quad (7)$$

с учетом формулы (6) можно записать

$$K = 4\pi DR_k = \frac{4}{3} GR_k^3.$$

Отсюда можно рассчитать значение коэффициента диффузии D при градиентной коагуляции в ламинарном потоке:

$$D = \frac{GR_k^2}{3\pi}. \quad (8)$$

Величину градиента скорости в пристеночном слое потока можно определить, используя уравнение равномерного движения жидкости в трубе:

$$\tau_* = Rig\rho, \text{ Н/м}^2, \quad (9)$$

и закон продольного внутреннего трения Ньютона

$$\tau_* = \mu G_*, \text{ Н/м}^2, \quad (10)$$

где τ_* – касательное напряжение продольного внутреннего трения в пристеночной области потока, Н/м^2 ; R – гидравлический радиус, м; i – гидравлический уклон; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; ρ – плотность жидкости, кг/м^3 ; μ – динамический коэффициент вязкости жидкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$; G_* – градиент скорости потока жидкости в пристеночной области, с^{-1} .

Из (9) и (10) имеем:

$$\mu G_* = Rig\rho,$$

откуда

$$G_* = \frac{Rg\rho}{\mu} \cdot i, \quad (11)$$

Величину гидравлического уклона можно определить из формулы Гагена – Пуазейля:

$$\Delta H = il = \frac{32V\nu l}{d^2 g}, \text{ м}, \quad (12)$$

где ΔH – падение напора на участке трубы длиной l , м; d – диаметр трубы, м; ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$.

С учетом $d=4R$ и $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ имеем:

$$i = \frac{32V\mu}{16R^2\rho g} = \frac{2V\mu}{R^2\rho g}, \quad (13)$$

откуда

$$G_* = \frac{Rg\rho}{\mu} \cdot \frac{2V\mu}{R^2\rho g} = \frac{2V}{R}, \text{ с}^{-1}. \quad (14)$$

Анализ формулы (14) показывает, что градиент скорости в пристеночном слое:

- 1) не зависит от свойств жидкости;
- 2) прямо пропорционален средней скорости потока V , м/с, и обратно пропорционален гидравлическому радиусу R , м.

Определив значение градиента скорости в пристеночной области потока G_* , можно вычислить величину коэффициента градиентной диффузии D по формуле (8) и по формуле (7) рассчитать скорость градиентной коагуляции.

Определим величину удельной массовой диссипации энергии, отнесенной к массе потока на длине участка потока l , м.

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta N}{\Delta m} = \frac{\Delta mg\Delta H}{\Delta m} = g\Delta H, \text{ Дж/кг; м}^2/\text{с}^2, \quad (15)$$

где ΔN – потеря энергии в рассматриваемом элементе потока, Дж; Δm – масса рассматриваемого сегмента жидкости, кг.

Учитывая, что

$$\Delta H = il; V_* = \sqrt{\frac{\tau_*}{\rho}} = \sqrt{\frac{\rho g R i}{\rho}} = \sqrt{g R i}, \quad (16)$$

где V_* – динамическая скорость потока, м/с, формулу (15) можно представить в виде

$$\varepsilon_l = g \Delta H = g i l = \frac{l}{R} g i R = \frac{l}{R} V_*^2;$$

$$\varepsilon_l = \frac{l}{R} V_*^2, \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (17)$$

Таким образом, величина удельной диссипации энергии на участке потока ε_l зависит: прямо пропорционально – от длины этого участка l и квадрата динамической скорости V_*^2 и обратно пропорционально – от гидравлического радиуса R .

На участке потока, длина которого равна гидравлическому радиусу R , удельная диссипация энергии определяется как

$$\varepsilon = V_*^2, \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (18)$$

Удельную энергию, рассеиваемую в потоке за единицу времени, или удельную секундную диссипацию энергии, можно определить как удельную диссипацию энергии на участке потока ε_l , отнесенную к периоду времени ΔT , за который поток прошел расстояние l :

$$\varepsilon_T = \frac{\varepsilon_l}{\Delta T} = \frac{l}{R \Delta T} V_*^2. \quad (19)$$

С учетом того, что средняя скорость потока определяется как

$$V = \frac{l}{\Delta T}, \text{ м/с},$$

имеем

$$\varepsilon_T = \frac{V}{R} V_*^2, \text{ м}^2/\text{с}^3. \quad (20)$$

Таким образом, получаем систему уравнений, позволяющую определить величины удельной диссипации энергии потока жидкости ε , удельной диссипации энергии на участке потока жидкости ε_l и удельной секундной диссипации энергии потока жидкости ε_T :

$$\begin{cases} \varepsilon = V_*^2, \text{ м}^2/\text{с}^2, \\ \varepsilon_l = \frac{l}{R} V_*^2, \text{ м}^2/\text{с}^2, \\ \varepsilon_T = \frac{V}{R} V_*^2, \text{ м}^2/\text{с}^3. \end{cases} \quad (21)$$

Рассмотрим энергетические характеристики потока жидкости. Выделим в элементарной струйке потока элементарный объем жидкости ΔW массой Δm , движущийся со скоростью u , находящийся под давлением p и расположенный над плоскостью сравнения на высоте Z .

Суммарная энергия этого объема будет складываться из кинетической энергии $E_k = \Delta m \frac{u^2}{2}$ и потенциальной энергии, включающей в себя потенциальную энергию положения и давления $E_n = \Delta mgZ + P\Delta W$:

$$E = \Delta m \frac{u^2}{2} + \Delta mgZ + p\Delta W = \Delta W \rho \frac{u^2}{2} + \Delta W \rho gZ + p\Delta W, \text{ Дж.}$$

Поделив полную энергию в рассматриваемом элементе струйки жидкости на объем ΔW , вес $\Delta G = \Delta W \rho g$ и массу $\Delta m = \Delta W \rho$ сегмента, получим уравнения для определения следующих удельных энергий: объемной $E_w = \frac{E}{\Delta W}$; весовой $E_G = \frac{E}{\Delta G}$; массовой $E_m = \frac{E}{\Delta m}$.

$$\begin{cases} E_w = \frac{E}{\Delta W} = \rho \frac{u^2}{2} + p + \rho gZ \left(\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}; \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}; \text{Па} \right), \\ E_G = \frac{E}{\Delta G} = \frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + Z \left(\frac{\text{Дж}}{\text{Н}}; \text{м} \right), \\ E_m = \frac{E}{\Delta m} = \frac{u^2}{2} + \frac{p}{\rho} gZ \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}; \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \right). \end{cases} \quad (22)$$

В системе уравнений (22) E_w будет иметь размерность давления (Па); E_G – размерность напора (м); E_m – размерность квадрата скорости ($\text{м}^2/\text{с}^2$).

Разница удельных массовых энергий для начального и конечного сечений горизонтального отрезка трубы длиной l , м, определяется как:

$$\Delta E_m = E_{m_1} - E_{m_2} = \frac{p_1 - p_2}{\rho} = \frac{\Delta p}{\rho}, \text{ м}^2/\text{с}^2, \quad (23)$$

где Δp – падение давления на горизонтальном участке трубы длиной l , Па.

Поскольку

$$\Delta p = g\rho\Delta H; \quad \Delta H = il; \quad V_*^2 = iRg; \quad \varepsilon_l = V_*^2 \frac{l}{R},$$

уравнение (23) можно записать в виде:

$$\Delta E_m = \frac{g\rho\Delta H}{\rho} = giR \frac{l}{R} = V_*^2 \frac{l}{R} = \varepsilon_l, \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (24)$$

Таким образом, разница удельных массовых энергий ΔE_m в начальном и конечном сечениях горизонтального отрезка трубы длиной l , м, является величиной удельной диссипации энергии ε_l на этом участке потока жидкости.

Анализируя закон Стокса по изменению скорости ламинарного потока в поперечном сечении трубы, можно установить зависимость величины удельной диссипации энергии потока жидкости $\varepsilon = V_*^2$ от расстояния до оси трубы r .

$$u = 2V \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right), \text{ м/с.} \quad (25)$$

С учетом $V = \frac{\rho g i r_0^2}{8\mu}$; $V_*^2 = qiR$; $v = \frac{\mu}{\rho}$ получим:

$$u = \frac{g\rho}{4\mu} i r_0^2 \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2}\right) = \frac{gi}{4v} 4R^2 \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2}\right) = \frac{giR}{v} R \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2}\right) = \frac{V_*^2}{v} R \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2}\right);$$

откуда

$$u \frac{v}{R} = V_*^2 - V_*^2 \frac{r^2}{r_0^2};$$

$$V_*^2 = u \frac{v}{R} + V_*^2 \frac{r^2}{r_0^2}.$$

С учетом

$$V_*^2 = \frac{\tau_*}{\rho}$$

получаем:

$$V_*^2 = u \frac{v}{R} + \frac{\tau_*}{\rho} \frac{r^2}{r_0^2}. \quad (26)$$

Из уравнения (9) видно, что отношение величины касательного напряжения τ на расстоянии r от оси потока к этому расстоянию равно отношению касательного напряжения τ_* в пристеночной области потока к радиусу трубы r_0 :

$$\frac{\tau}{r} = \frac{\tau_*}{r_0} = \frac{ig\rho}{2},$$

откуда

$$\tau = \tau_* \frac{r}{r_0}. \quad (27)$$

С учетом формул (26) и (27) имеем

$$\varepsilon = V_*^2 = u \frac{v}{R} + \frac{\tau}{\rho} \frac{r}{r_0}, \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (28)$$

Анализируя уравнение (27), можно сделать следующие выводы:

1) величина удельной диссипации энергии ε постоянна по всему поперечному сечению потока $\varepsilon = V_*^2 = \text{const}$;

2) удельная диссипация в рассматриваемой точке потока складывается из двух частей: удельной диссипации энергии, обусловленной скоростным напором $\varepsilon_u = u \frac{v}{R}$, и удельной диссипации энергии, обусловленной касательным напряжением $\varepsilon_\tau = \frac{\tau}{\rho} \frac{r}{r_0}$;

3) удельная диссипация энергии, связанная со скоростным напором, имеет максимальное значение на оси потока

$$\varepsilon_u = V_*^2 = u_{\max} \frac{v}{R} = 2V \frac{v}{R};$$

4) удельная диссипация энергии, связанная с касательными напряжениями в потоке, имеет максимальное значение в пристеночной области потока $\varepsilon_\tau = V_*^2 = \frac{\tau_*}{\rho}$.

Величину удельной диссипации энергии потока, связанной с касательным напряжением, можно найти по формуле

$$\varepsilon_\tau = V_*^2 = u \frac{V}{R}. \quad (29)$$

Определяя величину удельной диссипации энергии, связанной с касательным напряжением ε_τ в характерных точках поперечного сечения потока, по формуле (29) и значения градиента скорости в пристеночном слое по формуле (14), можно оптимизировать конструктивные параметры трубчатого флокулятора и интенсифицировать процесс реагентной очистки за счет улучшения условий флокуляции примесей.

Список литературы

1. Андреев, С.Ю. Новая технология коагуляционной очистки производственных сточных вод / С.Ю. Андреев, В.В. Демидочкин, А.С. Шистеров, Г.П. Давыдов, С.А. Кусякина // Труды международного симпозиума. – Пенза: ПГУ, 2011.
2. Андреев, С.Ю. Внедрение новой технологии предварительной коагуляционной обработки сточных вод при реконструкции очистных сооружений птицефабрики «Васильевская» Пензенской области / С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, Н.И. Богданов, В.В. Демидочкин, А.С. Шистеров // Труды международной конференции. – Пенза: ПГУАС, 2011.
3. Воюцкий, С.С. Курс коллоидной химии / С.С. Воюцкий. – М.: Химия, 1975.
4. Бабенков, Е.Д. Очистка воды коагулянтами / Е.Д. Бабенков. – М.: Наука, 1977.

References

1. Andreev, S.Yu. New technology of industrial waste water coagulant purification / S.Yu. Andreev, V.V. Demidochkin, G.P. Davydov. S.A. Kusakina // Transactions of international symposium. – Penza: PSU. 2011.
2. Andreev, S.Yu. Integration of new technology of preliminary waste water treatment under conversion poultry plant «Vasilyevskay» / S.Yu. Andreev, B.M. Grishin, N.I. Bogdanov, V.V. Demidochkin, A.S.Shisterov // Transactions of international conference. – Penza: PSUAC. 2011.
3. Voyntsky, S.S. The course of colloid chemistry / S.S. Voyntsky. – M.: Chemistry, 1975.
4. Babenkov, E.D. Water purification with coagulants / E.D Babenkov. – M.: Science, 1977.

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 «Теплогазоснабжение
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 Sciences, 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 Sciences, Associate Professor of
the department «Heat and gas supply»

СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ С ЗАКРУТКОЙ ПОТОКА В ВОЗДУХОВОДАХ

Д.П. Боровков, К.О. Чичиров

Определены причины возникновения пылевых отложений в воздуховодах систем аспирации и предложен способ предотвращения их образования посредством организации закрутки потока. Приведены результаты теоретических и практических исследований и промышленной апробации предложенных решений.

Ключевые слова: воздуховоды, система аспирации, закрученный поток.

ASPIRATION SYSTEMS WITH FLOW SWIRLING IN THE AIR DUCT

D.P. Borovkov, K.O. Chichirov

The authors determine the cause of dust deposits in the ducts of aspiration and a method of preventing their formation by organizing flow swirling. The results of theoretical and applied research and industrial testing of the proposed solutions are given.

Keywords: air ducts, aspiration system, swirling flow.

При эксплуатации систем аспирации с течением времени может наблюдаться образование пылевых отложений в горизонтальных воздуховодах аспирационной сети. Одной из главных причин, обуславливающих образование пылевых отложений в воздуховодах систем аспирации предприятий строительной индустрии, являются полидисперсность пылевых частиц, содержащихся в газах, отходящих от аспирируемого оборудования [1, 2]. Ввиду вероятностного характера процессов механического измельчения материалов, характерного, например, для строительной отрасли, максимальный диаметр частиц пылевидного материала является случайной величиной. Несмотря на то, что вероятность значительного отклонения максимального диаметра пылевых частиц от своего среднего значения невелика, величина этого отклонения может быть существенной. Таким образом, в течение достаточно длительного промежутка времени число случаев превышения расчетной величины максимального диаметра частиц пылевидного материала может стать значительным. Попадание в аспирационную сеть частиц, диаметр которых превышает максимальный расчетный, может привести к выпадению их из газового потока и отложению на дне и стенках воздуховода. Кроме того, немаловажной причиной образования отложений пыли в

воздуховодах систем аспирации строительной индустрии является повышенная адгезионная способность пылей, характерных для строительной отрасли.

Одним из способов решения проблемы образования пылевых отложений в горизонтальных воздуховодах является организация закрутки потока. Закрученный газовый поток характеризуется повышенной способностью приводить в движение и переносить твердые пылевидные частицы, что позволяет предотвращать образование пылевых отложений в воздуховодах [1]. Данный эффект обусловлен наличием тангенциальных составляющих скоростей газового потока, повышающих скорость обтекания пылевых частиц газовым потоком.

Движение газового потока в воздуховоде подчиняется закону сохранения импульса, который в общем случае может быть записан в форме уравнения Навье-Стокса:

$$\rho = \frac{d\bar{w}}{dt} = \bar{F} - \text{grad } P + \nu \rho \nabla^2 \bar{w}, \quad (1)$$

где ρ – плотность; F – вектор массовых сил, отнесенных к единице объема жидкости; w – скорость частицы газового потока; P – давление; ν – кинематическая вязкость.

В цилиндрических координатах с учетом выполнения условия осевой симметрии течения $\frac{\partial}{\partial \varphi} = 0$ уравнения, описывающие движение потока, имеют вид:

$$\rho \left(\frac{\partial w_r}{\partial \tau} + w_r \frac{\partial w_r}{\partial r} - \frac{w_\varphi^2}{r} + w_x \frac{\partial w_r}{\partial x} \right) = F_r - \frac{\partial P}{\partial r} + \nu \rho \left(\frac{\partial^2 w_r}{\partial r^2} - \frac{w_r}{r^2} + \frac{\partial^2 w_r}{\partial x^2} \right); \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w_\varphi}{\partial \tau} + w_r \frac{\partial w_\varphi}{\partial r} + \frac{w_r w_\varphi}{r} + w_x \frac{\partial w_\varphi}{\partial x} \right) = F_\varphi + \nu \rho \left(\frac{\partial^2 w_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w_\varphi}{\partial r} - \frac{w_\varphi}{r^2} + \frac{\partial^2 w_\varphi}{\partial x^2} \right); \quad (3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w_x}{\partial \tau} + w_r \frac{\partial w_x}{\partial r} + w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} \right) = F_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \rho \left(\frac{\partial^2 w_x}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w_x}{\partial r} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} \right). \quad (4)$$

Решение системы (2)–(4), характеризующей движение закрученного потока практически затруднено для случая турбулентного движения. С целью упрощения целесообразным представляется применить осредненные параметры, предложенные Рейнольдсом. Кроме того, уравнения существенно упрощаются за счет игнорирования массовых сил, которые не оказывают значимого влияния на движение газового потока. Таким образом, система уравнений сохранения импульса, в условиях установившегося течения имеет вид:

$$\frac{\partial \bar{w}_r}{\partial r} - \frac{\bar{w}_\varphi^2}{r} + w_x \frac{\partial \bar{w}_r}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{w}_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \bar{w}_r}{\partial r} - \frac{\bar{w}_r}{r^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}_r}{\partial x^2} \right) - \frac{\partial}{\partial r} (\bar{w}'^2) - \frac{\partial}{\partial x} (\bar{w}'_r \bar{w}'_x) + \frac{w_\varphi'^2}{r}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial \bar{w}_\varphi}{\partial r} + \frac{w_r \bar{w}_\varphi}{r} + w_x \frac{\partial \bar{w}_\varphi}{\partial x} = \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{w}_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \bar{w}_\varphi}{\partial r} - \frac{\bar{w}_\varphi}{r^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}_\varphi}{\partial x^2} \right) - \frac{\partial}{\partial r} (\bar{w}'_r \bar{w}'_\varphi) - 2 \frac{\bar{w}'_r \bar{w}'_\varphi}{r}; \quad (6)$$

$$\frac{\partial \bar{w}_x}{\partial r} + w_x \frac{\partial \bar{w}_x}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{w}_x}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \bar{w}_x}{\partial r} + \frac{\partial^2 \bar{w}_x}{\partial x^2} \right) - \frac{\partial}{\partial r} (\bar{w}'_r \bar{w}'_x) - \frac{\partial}{\partial x} (\bar{w}'_x^2) - \frac{\bar{w}'_r \bar{w}'_x}{r}. \quad (7)$$

Систему уравнений также можно представить в компонентах тензора напряжений G_{ij} :

$$w_r \frac{\partial w_r}{\partial r} - \frac{w_\varphi^2}{r} + w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial G_{rr}}{\partial r} + \frac{\partial G_{rx}}{\partial x} + \frac{G_{rr} - G_{\varphi\varphi}}{r} \right); \quad (8)$$

$$w_r \frac{\partial w_\varphi}{\partial r} + \frac{w_r w_\varphi}{r} + w_x \frac{\partial w_\varphi}{\partial x} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial G_{\varphi r}}{\partial r} + \frac{\partial G_{\varphi x}}{\partial x} + \frac{G_{rr} - G_{\varphi\varphi}}{r} \right); \quad (9)$$

$$w_r \frac{\partial w_x}{\partial r} + w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial G_{xr}}{\partial r} + \frac{\partial G_{xx}}{\partial x} + \frac{G_{xr}}{r} \right). \quad (10)$$

С учетом условия неразрывности течения, условия осевой симметрии, несжимаемости потока, а также, исключая действие гравитационных сил, имеем:

$$\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial (w_r r)}{\partial r} = 0. \quad (11)$$

Замыкание системы уравнений (8)–(10) и (11), характеризующих турбулентное течение несжимаемого изотермического закрученного газового потока, осуществлялось на основе полуэмпирических подходов. В частности, при поиске инженерных решений представляется рациональным использование интегральных методов записи законов сохранения:

$$2\pi \int_0^R (P + \rho w_x^2) r dr = K; \quad (12)$$

$$2\pi \int_0^R \rho w_x w_\varphi r^2 dr = M. \quad (13)$$

Выражения (12) и (13) являются полным импульсом осевого движения и моментом импульса в осевом направлении соответственно. Из (12) и (13) с учетом вышеназванных допущений следует:

$$\tau_x = -\frac{1}{2\pi R} \frac{dK}{dx}; \quad (14)$$

$$\tau_\varphi = -\frac{1}{2\pi R^2} \frac{dM}{dx}, \quad (15)$$

где τ_φ – касательное напряжение; τ_x – осевое напряжение.

Следует отметить, что влияние закрутки на интенсивность процессов взаимодействия закрученного потока со стенкой канала можно охарактеризовать также углом закрутки потока на поверхности канала $\operatorname{tg} \beta = w_\varphi / w_x$. Ввиду того, что в ламинарном пограничном подслое величина радиальной составляющей скорости незначительна, можно считать

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\tau_\varphi}{\tau_x}. \quad (16)$$

Таким образом, интегральные параметры закрученного потока M и K определяют как параметр закрутки потока, так и касательные напряжения на поверхности канала. Данный факт позволяет рассматривать их как основу при разработке инженерных методов расчета закрученных течений.

В настоящий момент широкое распространение в качестве параметра, характеризующего интенсивность закрутки потока, получил интегральный параметр:

$$\Phi^* = \frac{M}{RK} = \left(2\pi \rho \int_0^R w_x w_\varphi r^2 dr \right) / \left(R 2\pi \rho \int_0^R w_x^2 r dr \right). \quad (17)$$

При одинаковых значениях Φ^* в каналах различного диаметра, в различных сечениях при течении газов и капельных жидкостей имеет место практически полная идентичность профилей осевой и тангенциальной составляющих скоростей.

С целью описания движения частицы в качестве главного допущения принята ее шарообразная форма, а также равномерность распределения массы по объему. При рассмотрении движения принято, что частица движется по внутренней поверхности воздуховода, т.к. это наиболее тяжелые условия движения. На движение частицы оказывают влияние гидродинамические силы, массовые и сила связи с поверхностью канала.

Обобщение результатов визуальных наблюдений свидетельствует о практическом отсутствии взаимодействия между частицами, что позволяет рассматривать их движение как индивидуальное и корректно переносить эти результаты на группу частиц. Таким образом, при описании движения частиц в закрученном потоке, в условиях, характерных для аспирационных сетей, можно корректно рассматривать движение одиночной частицы, пренебрегая их взаимодействием между собой.

Предварительный анализ показывает, что на частицу, движущуюся в закрученном аспирационном потоке, значимое влияние оказывают: сила сопротивления обтеканию газовым потоком, сила тяжести, нормальная реакция стенки воздуховода, сила трения между поверхностями частицы и воздуховода. Кроме того, в случае наличия качения частицы существенное влияние оказывает сила Магнуса, обусловленная присоединением вращающихся масс газа, а также момент инерции качения и момент сопротивления отеканию потоком. Уравнения, характеризующие движение частицы по горизонтальному цилиндрическому воздуховоду, имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{dV_x}{dt} &= -g_x + \frac{F_\mu}{m} \cos \gamma - \frac{F_{\text{тр}}}{m} \cos \alpha; \\ \frac{d\omega_\phi}{dt} &= -\frac{V_\phi}{\zeta} \omega_\zeta + \left(\frac{F_\mu}{m} \xi K_1 \cos \gamma' + \frac{F_1}{m} \cos \alpha - \frac{fN}{m} \cos \alpha \right) \frac{\delta}{2i^2}; \\ V_x &= -\frac{\delta}{2} \omega_\phi = 0; \quad \frac{dV_\phi}{dt} = -\frac{F_\mu}{m} \sin \gamma - \frac{F_1}{m} \sin \alpha - g_\phi; \\ \frac{d\omega_x}{dt} &= \left(\frac{F_\mu}{m} \xi K_1 \sin \gamma' + \frac{F_{\text{тр}}}{m} \sin \alpha - \frac{fN}{m} \sin \alpha \right) \frac{\delta}{2i^2}; \\ V_\phi + \frac{\delta \omega_\phi}{2} &= 0; \quad \frac{dV_\zeta}{dt} - \frac{V_\phi^2}{2} = -N + g_\zeta; \quad \frac{d\omega_\zeta}{dt} = \frac{V_\phi}{\zeta} \omega_\phi - \frac{M_{\mu\zeta}}{mi^2}, \end{aligned} \quad (18)$$

где V – скорость твердой частицы; F_μ – сила сопротивления частицы потоку газа; $F_{\text{тр}}$ – сила трения скольжения частицы по поверхности воздуховода; F_1 – сила трения качения; f – коэффициент трения скольжения; K – коэффициент, зависящий от форм фактора частицы; N – нормальная реакция стенки воздуховода; t – время; i – радиус инерции; δ – диаметр частицы; γ – угол между осью канала и вектором мгновенной скорости частицы; α – угловая координата; m – масса частицы; ω_ϕ – угловая скорость частицы; ξ – коэффициент пропорциональности.

С целью выяснения характера движения частицы проведен ряд вычислительных экспериментов, результатом которых является вывод о несоблюдении условия, характеризующего отсутствие проскальзывания во всем диапазоне:

$$\frac{F_{\text{тр}}}{m} \leq f \left(\frac{2V_\phi^2}{2R - \delta} + g_\zeta \right), \quad (19)$$

где R – радиус канала.

То есть движение частицы происходит без качения, при этом уравнения, характеризующие движение частицы в цилиндрических координатах, имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{dV_x}{dt} &= \frac{(\delta/2)^2}{i + (\delta/2)^2} \left(-g_x - \frac{V_\varphi \omega_\zeta \delta}{(2R - \delta)} \frac{i^2}{(\delta/2)^2} - \frac{fN}{m} \cos \alpha + \frac{F_\mu}{m} \cos \gamma + \frac{F_\mu}{m} \xi K_1 \cos \gamma' \right); \\ \frac{dV_\varphi}{dt} &= \frac{(\delta/2)^2}{i + (\delta/2)^2} \left(\frac{F_\mu}{m} \sin \gamma + \frac{F_\mu}{m} \xi K_1 \sin \gamma' - \frac{fN}{m} \sin \alpha - g_\varphi \right); \\ \frac{F_{\text{тп}}}{m} \cos \alpha &= \frac{i^2}{i^2 + (\delta/2)^2} \left(g_x - \frac{F_\mu}{m} \cos \gamma - \frac{V_\varphi \omega_\zeta \delta}{(2R - \delta)} \right) + \\ &+ \frac{(\delta/2)^2}{i^2 - (\delta/2)^2} \frac{F_{\text{тп}}}{m} \xi K_1 \cos \gamma' - \frac{(\delta/2)^2}{i^2 - (\delta/2)^2} \frac{fN}{m} \cos \alpha; \\ \frac{F_{\text{тп}}}{m} \sin \alpha &= \frac{i^2}{i^2 + (\delta/2)^2} \left(\frac{F_\mu}{m} \sin \gamma - \frac{i^2}{i^2 + (\delta/2)^2} \frac{F_\mu}{m} \xi K_1 \sin \gamma' - \frac{(\delta/2)^2}{(\delta/2)^2 - i^2} \frac{fN}{m} \sin \alpha \right). \end{aligned} \quad (20)$$

Анализ результатов визуального наблюдения позволил установить, что достаточным признаком устойчивого транспортирования пылевидных частиц в горизонтальном газовом закрученном потоке является движение частицы по внутреннему радиусу стенки воздуховода со спиралевидной траекторией. Следовательно, условие устойчивого перемещения твердой пылевидной частицы в горизонтальном газовом закрученном потоке можно сформулировать как наличие у нее тангенциальной скорости во всех точках поперечного сечения воздуховода, что позволяет упростить задачу, сведя ее к двумерной. Уравнение, описывающее окружную составляющую скорости частицы, имеет вид:

$$\frac{dV_\varphi^2}{d\varphi} = \frac{3}{2} \cdot \frac{rc_x \pi \rho_r (w_\varphi - V_\varphi)^2}{\delta \rho_\varphi} - 2f \cdot V_\varphi^2 - 2rg \cdot (f \cdot \cos(\varphi) + \sin(\varphi)), \quad (21)$$

где c_x – коэффициент аэродинамического сопротивления частицы.

Наиболее интенсивное уменьшение значения минимальной скорости уноса частиц происходит в диапазоне значений интегрального параметра закрутки газового потока $\Phi^* = 0,2..0,7$. Так, например, при транспортировании частиц кварцевого песка повышение интенсивности закрутки с 0,2 до 0,6 позволяет снизить среднерасходную скорость потока с 7,9 м/с до 2,6 м/с. При дальнейшем увеличении интенсивности закрутки потока интенсивность снижения скорости уноса падает, что делает неоправданным дальнейшее увеличение интенсивности закрутки ввиду возрастания сопротивления движению газового потока. Таким образом, оптимальной для уноса пылевых отложений является слабая закрутка потока $\Phi^* = 0,4..0,6$.

Для организации закрутки аспирационного потока в воздуховодах аспирационной сети разработан ряд закручивающих устройств. Для работы системы в режиме пониженного расхода аспирационного газа предложен комбинированный тангенциальный отвод-закручиватель [3] (рис. 1). При работе системы аспирации в основном режиме байпасный патрубок 4 герметично закрыт при помощи заслонки 5, заслонка аксиального патрубка 6 открыта и из выходного патрубка 2 выходит аксиальный аспирационный поток. Для создания закрутки газового потока, проходящего через тангенциальный отвод-закручиватель, заслонка 5 тангенциального патрубка открывается, а заслонка 6 аксиального патрубка переводится в закрытое положение.

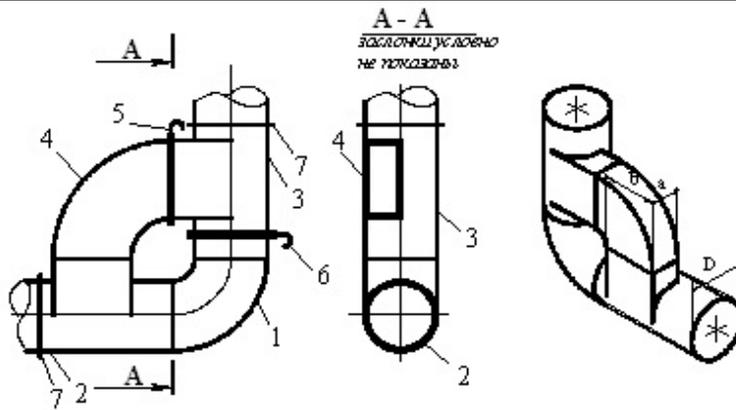


Рис. 1. Комбинированный тангенциальный отвод-закручиватель

Описанный метод создания закрутки потока применен в системе аспирации сушильного барабана кирпичного цеха №2 Себряковского комбината асбестоцементных изделий. Сушильный барабан подготавливает сырье для трех технологических линий по производству керамического кирпича, и в случае плановой или профилактической остановки одной или двух линий его производительность может понижаться в два – три раза.

Для предотвращения образования пылевых отложений в воздуховодах системы аспирации было принято решение организовать закрутку аспирационного потока в режимах работы системы аспирации с пониженным расходом газа. Для этого стандартный аспирационный отвод в месте соединения вертикального воздуховода, отходящего от сушильного барабана, и горизонтального воздуховода, присоединенного к пылеулавливающей установке, заменен на комбинированный тангенциальный отвод-закручиватель (рис. 2). После проведения реконструкции образование пылевых отложений в воздуховодах аспирационной сети прекратилось. Закрутка аспирационного потока позволяет системе устойчиво работать при расходе аспирационного газа в две трети и треть от номинального.

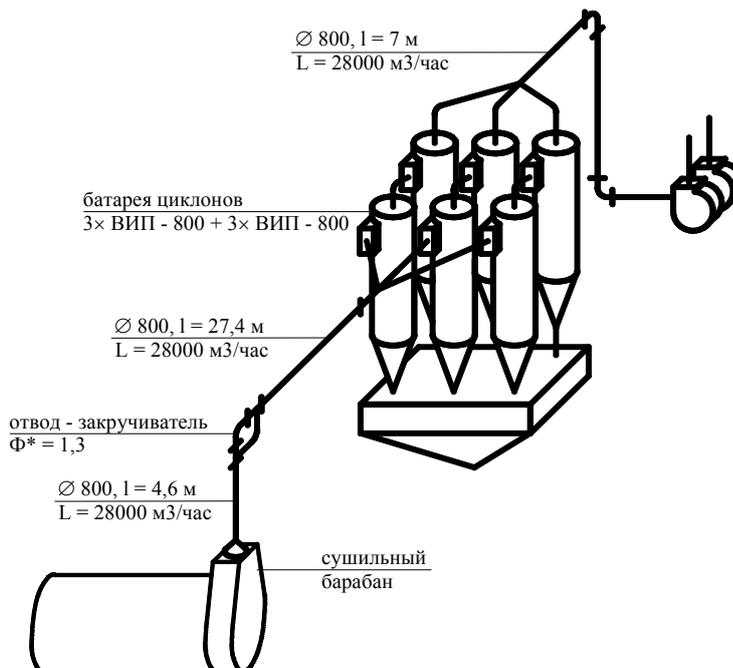


Рис. 2. Схема системы аспирации сушильного барабана кирпичного цеха №2 Себряковского комбината асбестоцементных изделий

Таким образом, реконструкция систем аспирации, заключающаяся в замене стандартного вентиляционного отвода, комбинированным тангенциальным отводом-закручивателем позволяет обеспечить существенную экономию количества сжигаемого природного газа за счет обеспечения надежного функционирования системы аспирации при сниженной величине аспирационного объема. Проведение реконструкции не требует каких-либо существенных изменений в аспирационной сети и замены тягодутьевого оборудования и не влечет существенного увеличения затрат энергии, а также прочих эксплуатационных затрат.

В ы в о д ы :

1. Организация закрутки потока в воздуховодах позволяет добиваться повышения устойчивости работы систем аспирации за счет снижения минимальных значений скоростей транспортирования пылевых частиц.

2. Разработанная на основании анализа условий движения твердой частицы расчетная модель позволяет определять скорости транспортирования пылевых частиц в закрученном потоке.

3. Исходя из полученных расчетным путем данных оптимальные значения интенсивности закрутки потока лежат в области слабой закрутки $\Phi^* = 0,4 \dots 0,6$.

4. Реконструкция существующих систем аспирации путем организации слабой закрутки потока не требует существенных изменений в аспирационной сети и замены тягодутьевого оборудования и не влечет существенного увеличения затрат энергии и прочих эксплуатационных затрат.

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. Желтобрюхов, В.Ф. Анализ причин забивания систем аспирации строительной отрасли / В.Ф. Желтобрюхов, Д.П. Боровков // Проблемы охраны производственной и окружающей среды: науч.-практ. конф. – Волгоград, 2001. – С. 84–87.

3. Патент на полезную модель РФ № 35325 МКИ 7 В 65 G 53/52 Устройство для очистки воздуховодов систем аспирации, находящихся под избыточным давлением / В.Н. Азаров, В.Ф. Желтобрюхов, Д.П. Боровков; Заявлено 05.06.2003. Опубл. 10.01.2004. Бюлл.№ 1. – 2 с.

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. Zheltobryuhov, V.F. Analysis of the causes blockage of aspiration systems of construction had grown / V.F. Zheltobryuhov, D.P. Borovkov // The problems of production and the environment: sci.- pract. Conf. – Volgograd, 2001. – P. 84–87.

3. Utility patent of Russian Federation № 35325 MKI 7 65 G 53/52 Cleaner air aspiration systems pressurized / V.N. Azarov, V.F. Zheltobryuhov, D.P. Borovkov; Stated 06/05/2003. Publ. 10/01/2004. Bull. № 1. – 2 p.

АРХИТЕКТУРА

ARCHITECTURE

УДК 711.136:656.052.434

*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

Круглов Юрий Васильевич,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Градостроительство»
E-mail: uv_kruglov@mail.ru

Стецурина Екатерина Сергеевна,
ассистент кафедры «Градостроительство»
E-mail: pensacolla@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

Kruglov Yuriy Vasilevich,
Candidate of Sciences, Professor the
department «Urbanistics»
E-mail: uv_kruglov@mail.ru

Stetsurina Ekaterina Sergeevna,
Assistant of the department «Urbanistics»
E-mail: pensacolla@rambler.ru

«СКОРОСТЬ СООБЩЕНИЯ» В АНАЛИЗЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАССЕЛЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ

Ю.В. Круглов, Е.С. Стецурина

Рассмотрен анализ расселения населения с учетом показателя транспортной доступности центра города на основе средневзвешенной скорости сообщения транспорта по городу (на примере г.Пензы).

Ключевые слова: расселение населения, доступность городских территорий, средневзвешенная скорость движения.

«TRAFFIC SPEED» IN POPULATION SETTLEMENT ANALYSIS

U.V. Kruglov, E.S. Stetsurina

Population settlement analysis taking into account the indicator of transport availability to the city center on the basis of city transport average speed (on the example of Penza) is considered.

Keywords: population settlement, accessibility of urban areas, traffic average speed.

При разработке генеральных планов городов ключевое место занимают материалы расселения населения. Анализ системы расселения позволяет грамотно обосновать развитие города, учесть затраты времени на передвижения и, следовательно, сделать город комфортным для проживания.

В связи с изменениями, происходящими в градостроительной системе крупных городов, возникает необходимость корректировки существующих методических подходов к моделированию расселения населения. Градостроительная практика выработала ряд исследовательских методов, которые успешно применяются. К ним относятся точечная планограмма, распределение населения по временным затратам относительно центра города и ряд других методов, которые позволяют получить объективные числовые характеристики по закономерностям расселения населения и дать градостроительные рекомендации по прогнозированию развития городов.

Предметом исследования является анализ расселения населения с учетом временного показателя транспортной доступности центра города. Временной показатель доступности общегородского центра для крупных городов является рекомендуемым

показателем, равным порядка 30 мин. Если доступность центра города превышает данный показатель, следовательно, транспортно-планировочная структура города не отвечает условиям комфортности проживания человека и служит основанием для реконструкции планировки и улично-дорожной сети города. Показатель доступности центра города вычисляется на основе затрат времени на передвижения. Затраты времени передвижения населения складываются из времени на подход к остановке транспорта, времени ожидания и времени следования на транспорте. Остановимся на последующей составляющей, т.е. на времени следования на транспорте, которое зависит, прежде всего, от скорости движения.

Показатели времени доступности городских территорий получали, как правило, исходя из скорости сообщения общественного транспорта (в среднем принимали 14–18 км/ч). В модели графоаналитической оценки транспортного решения [1] взят за основу массовый пассажирский транспорт, в работе [2] анализируется возможность совершенствования структуры жилой застройки, исходя из оптимизации работы общественного транспорта, в работе [3] изучался транспортный уровень компактности городской системы с учетом средней скорости движения на общественном транспорте.

Сложившиеся методические подходы к анализу размещения плотностей населения в крупных городах, а, в частности, в получении временной доступности территории города с учетом скорости сообщения только на общественном транспорте в современной градостроительной ситуации авторам статьи не представляется объективным. Предлагается пересмотреть показатель скорости сообщения исходя из следующих соображений:

1. Появились новые технические характеристики подвижного состава общественного и индивидуального транспорта.

2. Увеличилось число маловместительного маршрутизированного общественного транспорта. В г. Пензе в 2010 году ежедневный выпуск на линию городского транспорта составил: автобусы большой вместимости – 22,7 %, троллейбусы – 8,7 %, автобусы малой вместимости – 68,6 % [4].

3. Идет постоянное увеличение числа индивидуальных автомобилей в составе общего транспортного потока на улицах городов, в результате роста уровня автомобилизации, что, в свою очередь, приводит к увеличению средних скоростей.

4. Происходят изменения в объемах пассажирских перевозок на общественном транспорте. За последние несколько лет объемы перевозок имеют тенденцию к уменьшению. На рис.1 отображены изменения в объемах пассажирских перевозок (по данным Управления транспорта и связи г. Пензы).

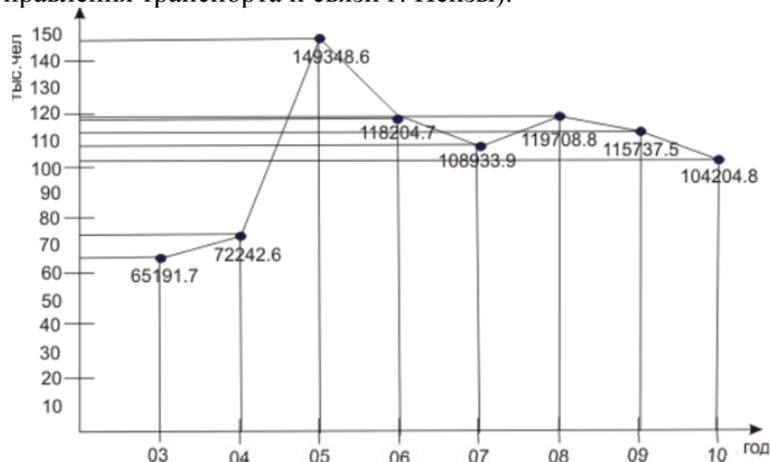


Рис. 1. Объемы перевезенных пассажиров на общественном транспорте в г.Пензе

Для получения более объективной оценки временной доступности городских территорий предлагается использовать показатель «средневзвешенной скорости сообщения» с учетом скоростей всех видов городского транспорта, участвующих в перевозке пассажиров [5].

Данный показатель описывается следующим выражением:

$$v_{\text{cp}} = \frac{v_1\rho_1 + v_2\rho_2 + v_3\rho_3 + \dots + v_n\rho_n}{\sum \rho_{1+n}}$$

где v_{cp} – средняя скорость сообщения по городу, км/ч; $\rho_{1,2,3...n}$ – количество перевезенных пассажиров каждым видом транспорта, ед; $v_{1,2,3...n}$ – средняя скорость движения различных видов транспорта, км/ч; $\Sigma\rho_{1+n}$ – общая сумма перевезенных пассажиров по городу.

В соответствии с приведенной формулой средневзвешенная скорость сообщения с учетом всех видов транспорта по г. Пензе составила 19 км/ч. Показатель «средневзвешенной скорости сообщения» основывается на натуральных обследованиях транспортной системы города, а в частности, получения средних скоростей сообщения отдельных видов городского транспорта. Были проведены натурные обследования средней скорости сообщения маршрутных такси и индивидуального автотранспорта в градостроительных условиях г. Пензы (методом хронометража). При поездках регистрировали длительность задержек у светофоров и время прохождения узловых пунктов, а также продолжительность случайных остановок в пути и число вынужденных торможений на отдельных перегонах из-за различных помех.

На рис. 2, 3 приведены кривые фактического изменения скоростей сообщения на диаметральных линиях индивидуального автотранспорта и маршрутных такси (типа «ГАЗель»).

Данные материалы подтверждают наличие «воронки скоростей» на плане города. В центральных районах средние скорости сообщения в рабочие дни снижаются до 8–10 км/ч.

В ходе обследования были получены средние скорости сообщения: на индивидуальном транспорте – 28,6 км/ч, на маршрутных такси 21,4 км/ч. На рис. 4 отображены исследуемые маршруты городского пассажирского такси (типа «ГАЗель») и диаметральные маршруты личного автотранспорта.

Для сравнения средняя скорость индивидуального автомобиля по г. Москве – 22 км/ч, в г. Нью-Йорке средняя скорость составляет 38 км/ч [6]. Для города Пензы с численностью населения 507 тыс. человек средняя скорость индивидуального автомобиля, составляющая 28,9 км/ч, очень мала, и она имеет тенденцию к снижению.

Увеличение средней скорости сообщения с учетом всех видов транспорта зависит от потенциальных возможностей улично-дорожной сети. Наблюдается двойственная ситуация: увеличивается средняя скорость движения в результате повышения уровня автомобилизации, улучшения технических характеристик общественного транспорта, с одной стороны, и уменьшение этой же скорости за счет ограничения пропускной способности улично-дорожной сети, с другой.

Для получения показателя доступности центра города использован графоаналитический метод [1]. На основе точечной планограммы с учетом полученной скорости сообщения были построены изохроны транспортной доступности центра города (относительно главного транспортного узла, на пересечении ул. Плеханова и ул. Октябрьской, который попадает в центральный район города (рис. 5)). Проведен сравнительный анализ с изохронами транспортной доступности на общественном транспорте, в результате чего были получены кривые расселения по г. Пензе и вычислено среднее время доступности центра города (рис. 6). Для скорости 16 км/ч среднее время составило 34 мин, для полученного времени передвижения с учетом средневзвешенной скорости сообщения (19 км/ч) среднее время доступности центра города составило 29 мин.

Доступность центра города с учетом средневзвешенной скорости сообщения в 29 мин является критическим показателем. Учитывая интенсивное освоение новых территорий за границами сложившейся застройки, нужно ожидать в дальнейшем ухудшение этого показателя. Для уменьшения времени доступности центра города необходимо повышать скорость передвижения населения, что, в свою очередь, требует увеличения эффективности транспортной системы города, а также изменять характер расселения населения, уплотнять центральные и срединные районы города.

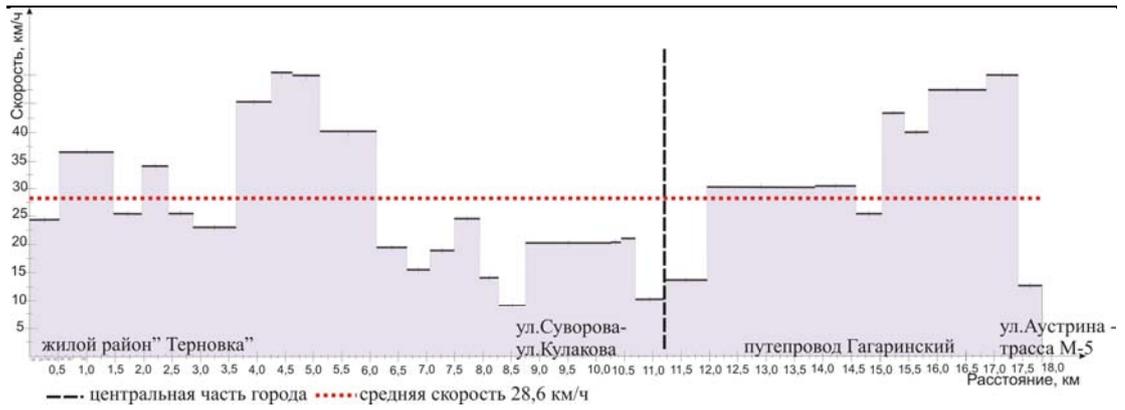


Рис.2. Скорость движения на индивидуальном транспорте по г.Пензе, январь, 2011 г. (направление – юг-север, районы Терновка – Центр – Северная Поляна)

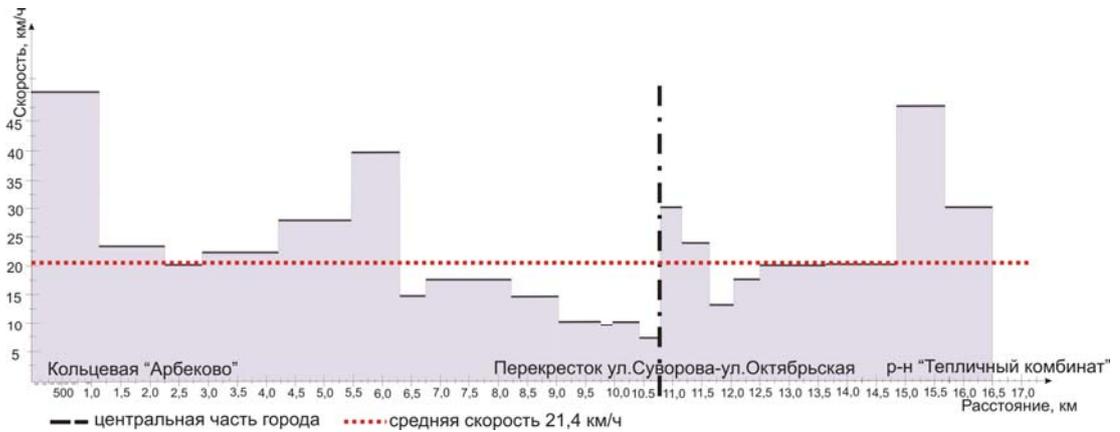


Рис. 3. Средние скорости движения на маршрутном такси (типа «ГАЗель») по г.Пензе, январь 2011 г. (маршрутное такси № 4)



Рис. 4. Маршруты обследования средней скорости сообщения на маршрутном такси и индивидуальном транспорте (картографический материал предоставлен <http://www.imap58.ru/>, ИП Дерябин С.Г.)

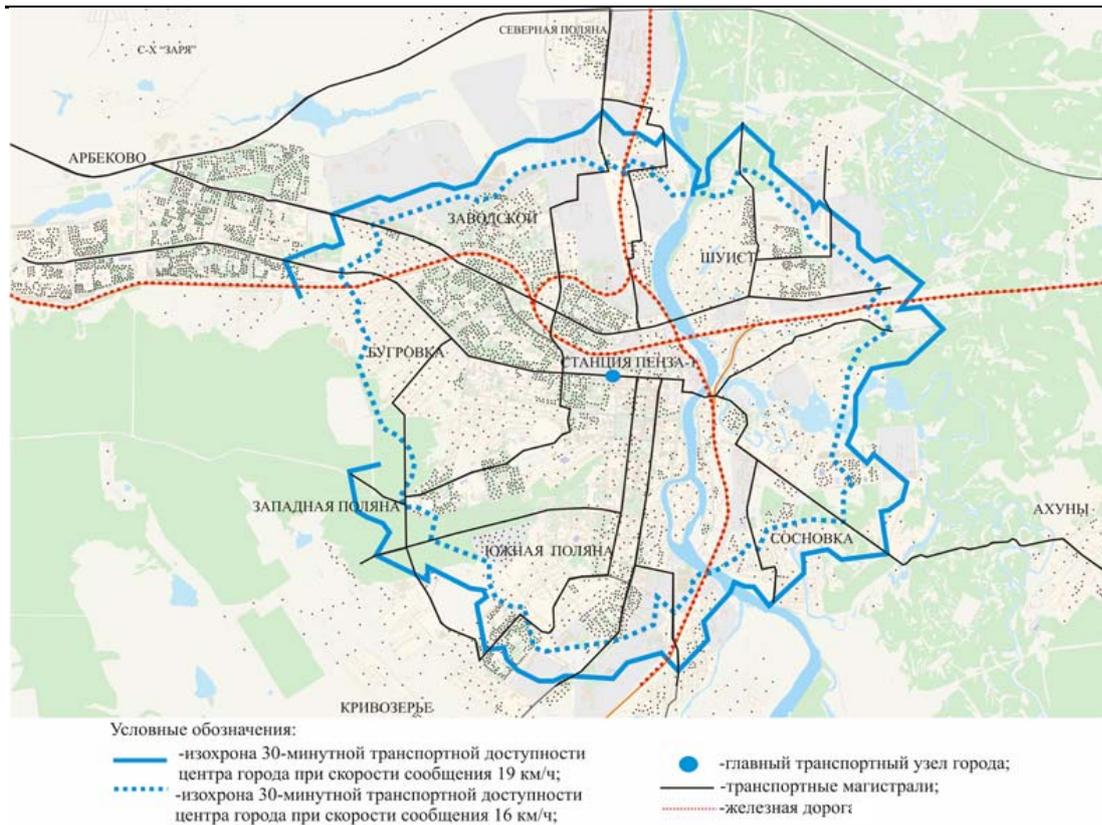


Рис. 5. Изохроны транспортной доступности центра города Пензы с учетом средней скорости по городу 19 км/ч и с учетом скорости 16 км/ч

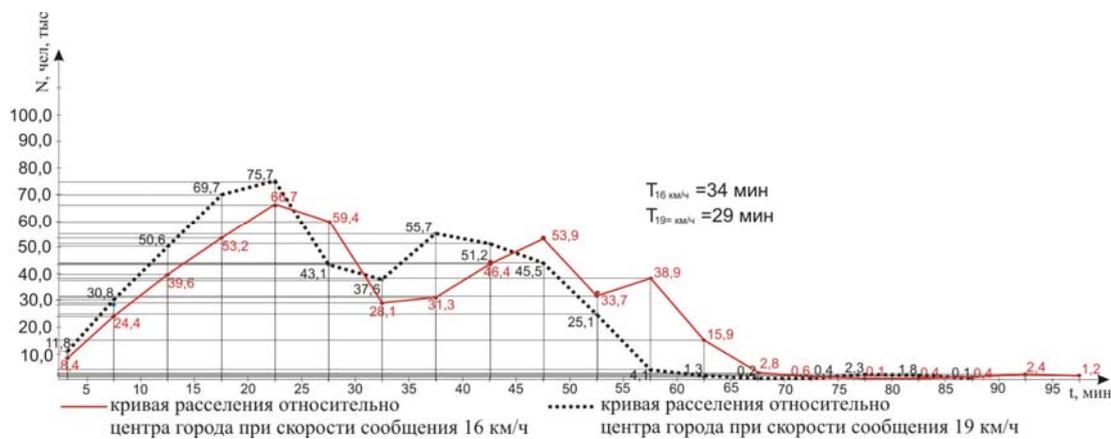


Рис. 6. Сравнительный график расселения населения относительно центра города (по двум скоростям сообщения)

Учитывая важность вопроса расселения населения в методике проектирования генеральных планов городов с применением средневзвешенной скорости сообщения, сделаны следующие выводы:

- увеличение числа индивидуальных автомобилей и маломестительного пассажирского транспорта в составе общего транспортного потока существенно влияет на изменение времени доступности городских территорий;
- полученное время доступности общегородского центра с учетом разных скоростей сообщения выявило разницу, которая составила для г.Пензы в общей сложности 5 мин;
- для повышения точности применяемых исследовательских подходов к моделированию расселения населения рекомендовано применять уточненный показатель

средневзвешенной скорости сообщения, отражающий современные транспортно-планировочные характеристики города;

– оперирование средневзвешенной скоростью сообщения возможно в рамках не только анализа расселения населения относительно центра города, но и в вычислениях доступностей мест приложений труда и объектов культурно-бытового обслуживания.

Использование данного показателя в градостроительных исследованиях можно применять на начальных этапах проектирования генеральных планов городов, на стадии эскизирования и выработки стратегии развития, когда необходимо провести анализ городских территорий на уровне выявления потенциально более доступных для населения относительно центра города участков территорий.

Список литературы

1. Якшин, А.М. Графоаналитический метод в градостроительных исследованиях и проектировании / А.М. Якшин, Т.М. Говоренкова, М.И. Каган, З.И. Меркулова, А.И. Стрельников. – М.: Стройиздат, 1979. – 204 с.
2. Бочаров, Ю.П. Планировочная структура современного города: моногр. / Ю.П. Бочаров, О.К. Кудрявцев – М.: Стройиздат, 1972. – 150 с.
3. Глухова, Е.Н. Комплексный подход к повышению компактности городских территорий: на примере города Пензы: дис. ... канд. арх. по спец.18.00.04 / Е.Н. Глухова // Моск. архитектур. ин-т. – М., 2008. –140 с.
4. Официальный сайт города Пензы. Расстановка автобусов и троллейбусов. – Режим доступа: <http://www.penza-gorod.ru/doc2-42.html>.
5. Круглов, Ю.В. Уточнение параметра «скорость сообщения» при проектировании транспортной сети города / Ю.В. Круглов, С.Ю. Круглов // Вопросы планировки и застройки городов. – Пенза: ПГУАС, 2002. – С. 69–70.
6. Средняя скорость движения автомобилей по Москве не превышает 22 км/час.– Режим доступа: http://www.newsmsk.com/article/29Dec2009/speed_msk.html.

References

1. Yakshin, A.M. Graphic analytical Method in Town Planning Studies and Designing / A.M. Yakshin, T.M. Govorenkova, M.I. Kagan, Z.I. Merkulova, A.I. Strelnikov. – M.: Stroyizdat, 1979. – 204 p.
2. Bocharov, Yu.P. Planning Structure of a Modern City: monogr / Yu.P. Bocharov, O.K. Kudryavtsev. – M.: Stroyizdat, 1972. – 150 p.
3. Gluhov, E.N. Comprehensive Approach to Increase of Compactness of Urban Areas: by example of Penza: diss. ... of candidate of architecture science 18.00.04 / E.N. Gluhova // Moscow Architectural Institute. – M., 2008. –140 p.
4. Official site of the city of Penza. Arrangement of buses and trolleybuses. – Mode of access: <http://www.penza-gorod.ru/doc2-42.html>.
5. Kruglov, Y.V. «Traffic Speed» Parameter Adjustment at designing of a transport network of a city / Y.V. Kruglov, S.Y. Kruglov // Questions of a lay-out and building of cities. – Penza: State Architectural and Constructional University, 2002. – P.69–70.
6. Average speed of movement of cars across Moscow doesn't exceed 22 km/h. – Mode of access: http://www.newsmsk.com/article/29Dec2009/speed_msk.html.

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 Sciences,
Professor of the department «Urbanistics»
E-mail: uv_kruglov@mail.ru

ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭКСТРАПОЛЯЦИИ

В.Д. Мазявкина, Ю.В. Круглов

Рассматривается использование метода экстраполяции при прогнозировании транспортных потоков на улично-дорожной сети для разработки мероприятий по реконструкции транспортной сети города.

Ключевые слова: транспортный поток, экстраполяция, коэффициенты роста.

EVALUATION OF TRANSPORT FLOWS OF CITY ROADS NETWORK USING THE METHOD OF EXTRAPOLATION

V.D. Mazyavkina, Y.V. Kruglov

The use of the extrapolation method for predicting traffic flows on the road network is considered for the development of measures for the reconstruction of the city transport network.

Keywords: traffic flow, extrapolation, coefficients of growth.

Экстраполяционный метод загрузки улично-дорожной сети основан на предположении, что перспективные транспортные потоки будут аналогичны существующим, но их размеры будут изменяться под влиянием «факторов роста», анализ которых проводился в течение нескольких лет. В настоящее время методы экстраполяции пассажирской, грузовой и транспортной корреспонденции при проектировании городов в отечественной практике мало используются. Раньше это объяснялось прежде всего высокими темпами роста наших городов и большим количеством проектируемых новых городов. В таких условиях применение экстраполяции связано с ошибками, так как метод не подразумевает больших изменений планировочной ситуации городов. В связи с тем, что на сегодняшний день наблюдается относительная стабилизация роста и развития крупных городов, появляется возможность использования метода экстраполяции, но существующие зарубежные методики экстраполируют корреспонденции между районами, требующие регулярных анкетных обследований, что в нашей стране не проводится. Предлагается использовать метод экстраполяции при прогнозировании транспортных потоков на автомобильных дорогах.

Рассмотрим эффективность применения метода экстраполяции при проектировании перспективных потоков на примере транспортной сети г. Пензы. С этой целью на основании обследований интенсивности движения автомобилей за предыдущие годы, рассчитав коэффициенты роста транспортного потока, с использованием метода

экстраполяции получим перспективные потоки на улично-дорожной сети и сравним их с фактическими замерами интенсивности движения.

Исследование включает в себя несколько этапов. В подготовительный этап входят *изучение картографических материалов* по городу и *выбор основных магистралей* для замеров движения в различных зонах города: центральной, срединной и периферийной. Затем осуществляются выбор постов наблюдения и определение сечения по магистралям, в которых необходимо сделать замеры интенсивности движения. Замеры интенсивности проводятся с помощью натурного обследования *методом визуального наблюдения* путем фиксирования автомобилей, проходящих через сечение за период обследования. В состав *транспортных потоков* включаются индивидуальные автомобили, газели, общественный и грузовой транспорт. Обследование проводят в будние дни в час пик интенсивности движения на улично-дорожной сети города в оба направления движения транспорта, час пик делится на 4 временных интервала по 15 минут.

После натурного обследования транспортные средства приводят к легковым единицам *с учетом коэффициентов приведения*: газели – 1,5, грузовой транспорт – 3, общественный транспорт – 3,5 единицы. После подсчета суммы приведенных единиц транспорта в обоих направлениях движения поток наносят на картографические материалы с учетом выбранного масштаба, в результате чего получается *картограмма потоков* на улично-дорожной сети города в час пик.

Регулярные обследования транспортных потоков за ряд лет дают наглядную картину изменения интенсивности потоков по улично-дорожной сети. Используя данные материалы, подсчитывают коэффициенты роста транспортного потока города:

$$K_n = 1 + \frac{N_i - N_j}{N_j},$$

где K_n – коэффициент роста потока за определенный интервал времени; N_i – количество автомобилей в приведенных единицах, подсчитанных в i год, авт./ч; N_j – количество автомобилей в приведенных единицах, подсчитанных в j год, авт./ч. Необходимое условие, чтобы $i > j$.

Для более точной характеристики изменения интенсивности транспортного потока в городе рассчитывают средний коэффициент роста потока в год:

$$k = 1 + \left(\frac{N_i - N_j}{N_j} / n \right),$$

где k – коэффициент роста потока за год; N_i – количество автомобилей в приведенных единицах, подсчитанных в i год, авт./ч; N_j – количество автомобилей в приведенных единицах, подсчитанных в j год, авт./ч; n – количество лет между i и j годами, в которые происходил замер интенсивности движения транспорта.

Используя данные коэффициенты, можно сравнить среднегодовое увеличение интенсивности транспортного потока на улицах за различные промежутки времени.

Перспективные потоки транспорта на улично-дорожной сети города рассчитывают по формуле

$$N_i = N_0 k^t,$$

где N_i – прогнозируемая интенсивность движения на i год, авт./ч; N_0 – исходная интенсивность движения, авт./ч; k – коэффициент роста потока за год; t – перспективный период, лет.

Для получения более точных данных по прогнозу интенсивности движения необходимо для каждой из зон города подсчитать свой коэффициент экстраполяции, который, как правило, различается в центральной, срединной и периферийной частях города из-за различной интенсивности развития городских территорий. Результатом обследования является картограмма перспективных транспортных потоков, получен-

ная путем увеличения существующего потока с использованием среднего коэффициента роста.

Данная методика позволила провести исследование по замерам интенсивности движения на улицах города Пензы в течение ряда лет (1979, 1985, 1998, 2000, 2005) [1]. Некоторые из материалов обследований отражены на картограммах пассажиропотоков по улично-дорожной сети г. Пензы (рис. 1-3).

В результате исследования интенсивности транспортного движения по улично-дорожной сети г. Пензы в 2005 г. превышение пропускной способности зафиксировано на дорогах, доля которых составляет 38 %. Сравнение картограмм пассажиропотоков в г. Пензе по рассматриваемым годам показало, что в 2005 году интенсивность движения транспорта в целом по городу выросла по сравнению с: 1979 г. – в 2 раза; 1985 г. – в 1,7 раза; 1998 г. – также в 1,7 раза, так как в 1998 году интенсивность движения по сравнению с 1985 годом в среднем по городу практически не увеличилась; 2000 – в 1,4 раза.

Для расчета коэффициентов роста интенсивности движения транспорта было выбрано несколько улиц в центральной, срединной и периферийной зонах города (рис. 4–6).

Суммарные потоки в оба направления по улицам приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Потоки по транспортной сети г. Пензы

Название улиц		Количество автомобилей в приведенных единицах в различные годы, авт./ч				
		1979	1985	1998	2000	2005
Центральная зона города						
1	Володарского	700	902	-	1492	1831
2	Суворова	-	2089	1940	2023	2176
3	Кирова	1246	1303	1030	1885	3242
4	Кулакова	1000	1470	1378	1375	2048
5	Пушкина	1000	1284	1492	1843	2293
Срединная зона						
1	Леонова	507	-	691	997	1591
2	Свердлова	949	1594	-	-	1620
3	Карпинского	1004	1105	-	-	2419
Периферийная зона						
1	Пр. Победы	2179	2427	-	4081	3801
2	Пр. Строителей	-	1207	2257	-	3523
3	Чадаева	-	-	2528	2010	3141

По каждой из улиц подсчитаны коэффициенты роста интенсивности движения за определенные промежутки времени.

Для прогноза интенсивности транспортного движения на перспективу рассчитан средний коэффициент роста в год за определенные временные интервалы по каждой из улиц в центральной, срединной и периферийной зонах города.

В центральной части города приняты средние коэффициенты роста интенсивности движения в год по рассматриваемым улицам: ул. Володарского – $K=1,045$; ул. Суворова – $K=1,003$; ул. Кирова – $K=1,05$; ул. Кулакова – $K=1,04$; ул. Пушкина – $K=1,04$. В итоге средний коэффициент роста интенсивности движения в центральной части города $K=1,03$.

В срединной части города приняты средние коэффициенты роста интенсивности движения в год по рассматриваемым улицам: ул. Леонова – $K=1,047$; ул. Свердлова – $K=1,025$; ул. Карпинского – $K=1,046$. В итоге средний коэффициент роста интенсивности движения в срединной части города $K=1,04$.

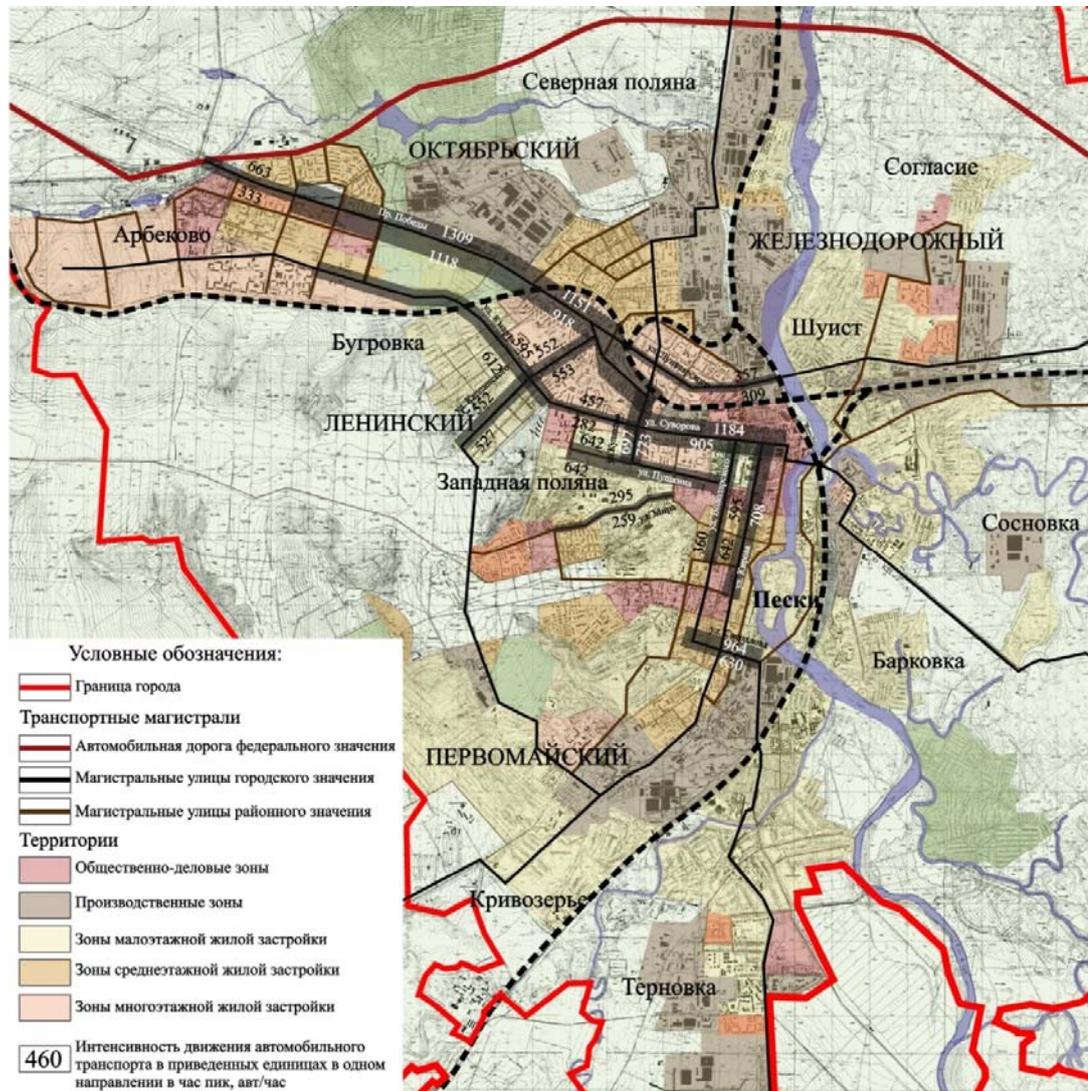


Рис. 1. Материал обследования интенсивности транспортного движения по улично-дорожной сети г. Пензы в 1985 г.

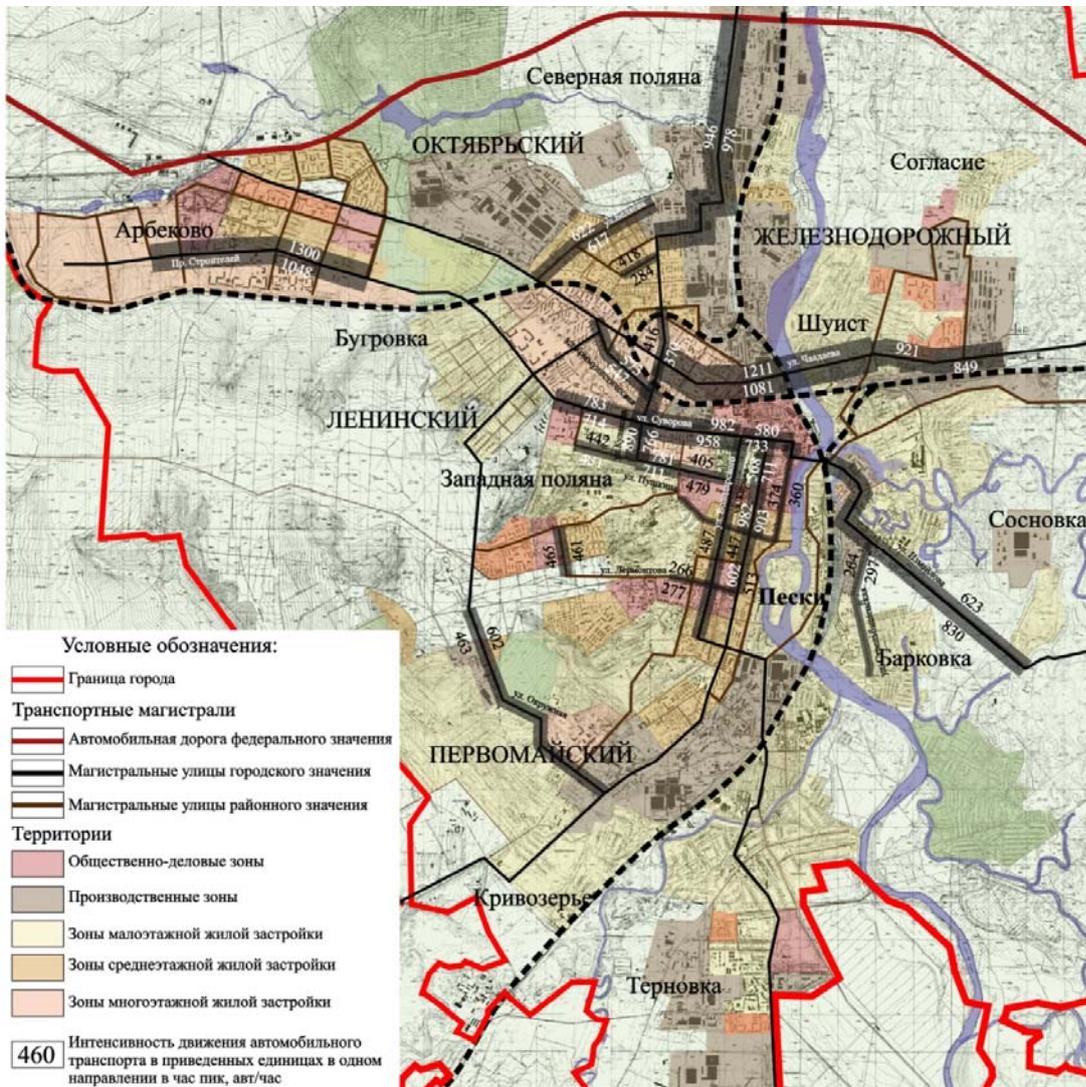


Рис. 2. Материал обследования интенсивности транспортного движения по улично-дорожной сети г. Пензы в 1998 г.

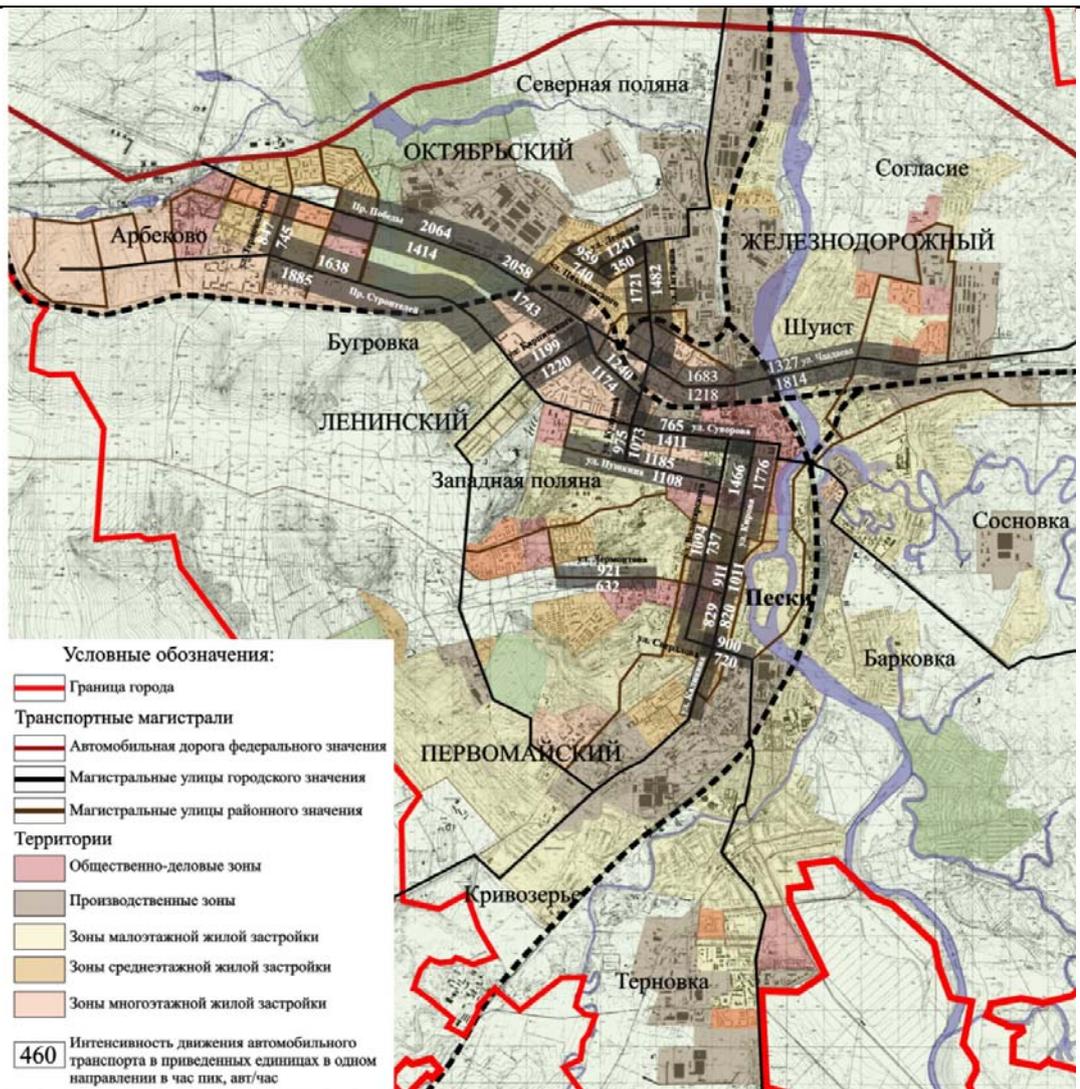


Рис. 3. Материал обследования интенсивности транспортного движения по улично-дорожной сети г. Пензы в 2005 г.

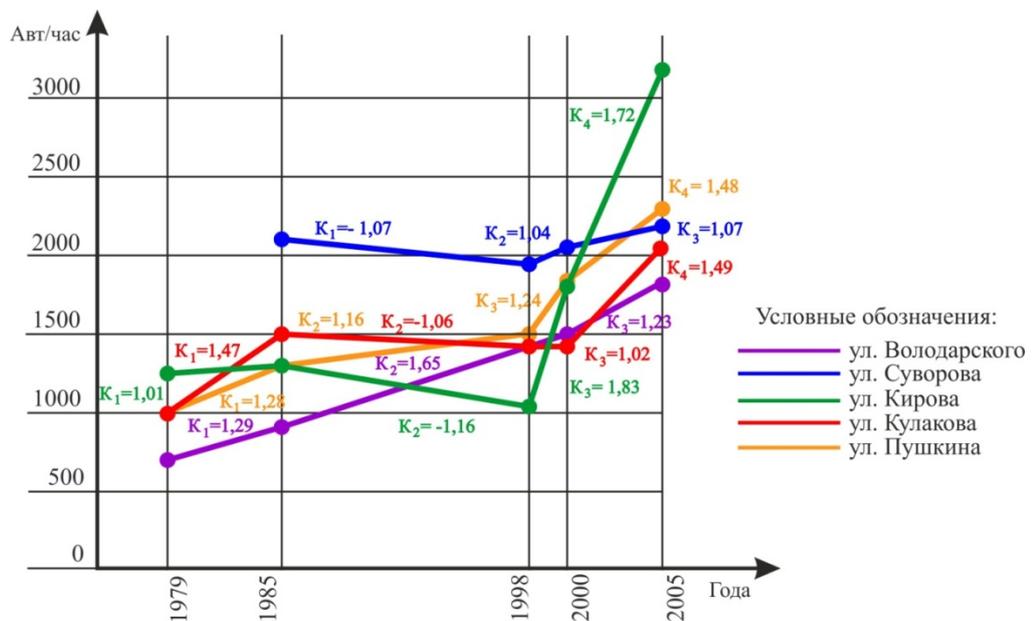


Рис. 4. График роста интенсивности транспортного движения по некоторым из улиц в центральной части г. Пензы с 1979 по 2005 гг.

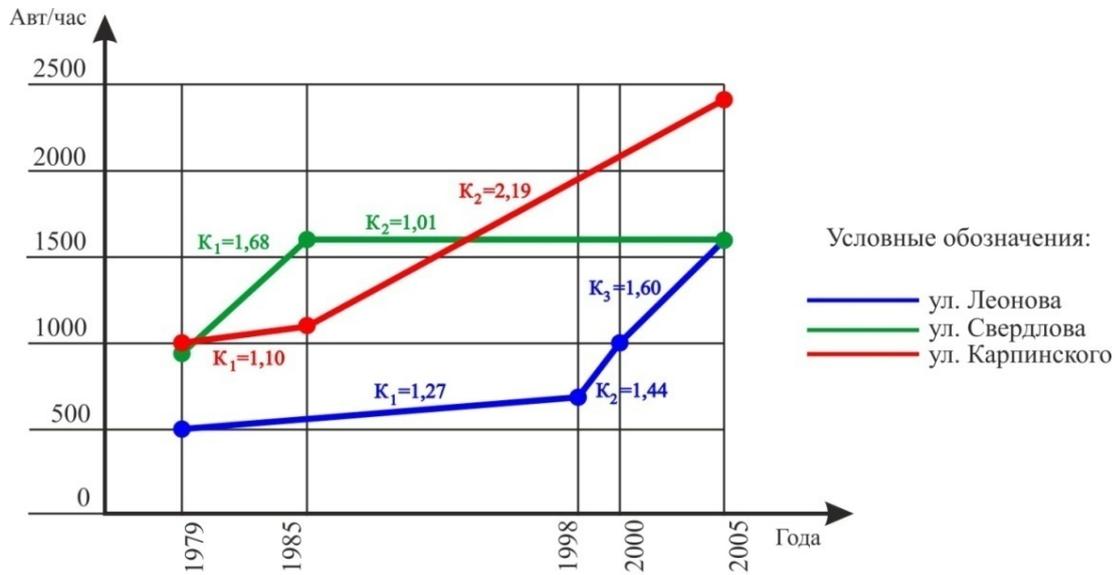


Рис. 5. График роста интенсивности транспортного движения по некоторым из улиц в срединной части г. Пензы с 1979 по 2005 гг.

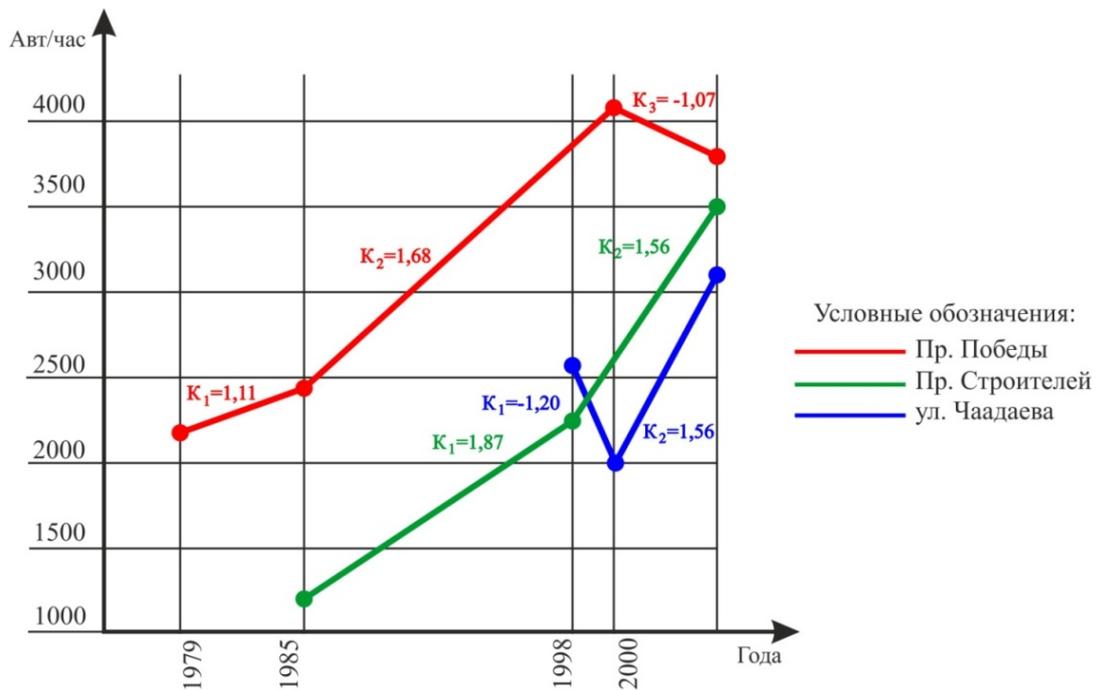


Рис. 6. График роста интенсивности транспортного движения по некоторым из улиц в периферийной части г. Пензы с 1979 по 2005 гг.

В периферийной части города приняты средние коэффициенты роста интенсивности движения в год по рассматриваемым улицам: пр. Победы – $K=1,036$; пр. Строителей – $K=1,07$; ул. Чаадаева – $K=1,05$. В итоге средний коэффициент роста интенсивности движения в периферийной части города $K=1,05$.

Для проверки достоверности полученных коэффициентов роста интенсивности движения были выбраны некоторые из рассматриваемых улиц в различных зонах города:

- в центральной – ул. Володарского и ул. Пушкина;
- в срединной – ул. Свердлова;
- в периферийной – ул. Чаадаева.

С использованием коэффициентов роста интенсивности движения по улицам, а также по зонам города рассчитаны перспективные транспортные потоки в 2012 г.

Т а б л и ц а 2

Прогнозируемые потоки по транспортной сети г. Пензы в 2012 г.

	Название улиц	Поток в 2005 г., авт./ч	K по улице	Поток в 2012 г., авт./ч (1 вариант)	K по зоне города	Поток в 2012 г., авт./ч (2 вариант)
1	Володарского	1831	1,045	2400	1,03	2215
2	Пушкина	2293	1,04	2935	1,03	2774
3	Свердлова	1620	1,025	1903	1,04	2073
4	Чаадаева	3141	1,05	4240	1,05	4240

При расчете перспективного потока необходимо учитывать емкость проезжей части рассматриваемой улицы. Если улица уже исчерпала свою пропускную способность, то увеличение потока в данном сечении маловероятно, так как образуются пробки и пропуск автомобиля невозможен. Так, при выборе интенсивности перспективного потока на всех улицах был взят максимальный из полученных потоков, кроме улицы Володарского, в связи с тем, что поток в 2400 авт./ч маловероятен из-за исчерпания ее пропускной способности. Также необходимо учесть, что в случае исчерпания пропускной способности улицы остальной поток перейдет на другие улицы, дублирующие рассматриваемое направление. Из рассматриваемых улиц это может относиться к ул. Пушкина, так как она дублирует ул. Суворова, где в таком же сечении затруднено движение по направлению в район Арбеково; поэтому по ул. Пушкина возможно увеличение потока относительно прогнозируемого еще на 10-20 %.

Для сравнения результатов расчета прогнозируемых потоков с фактическими данными выполнены замеры интенсивности движения в 2012 г. в различных зонах города по улицам: Володарского, Пушкина, Свердлова и Чаадаева. Обследование интенсивности движения транспорта на улично-дорожной сети города в оба направления проведено в будние дни в час пик (с 17.00 до 18.00). Получены следующие размеры транспортного потока в приведенных единицах: по ул. Володарского – 1860,5 авт./ч; по ул. Пушкина – 3633,5 авт./ч; по ул. Свердлова – 2186 авт./ч; по ул. Чаадаева – 4031,5 авт./ч.

По обследованиям некоторых улиц в 2012 г. состав транспортного потока характеризуется преобладанием легковых автомобилей, доля которых составляет 90 % от общего потока, газели – 6,5 %, грузовой транспорт – 1,2 %, общественный транспорт – 1,3 %, что говорит об увеличении роли индивидуального автомобиля в городских перевозках и о снижении, соответственно, перевозок на общественном транспорте.

После сравнения фактических и прогнозируемых транспортных потоков, полученных соответственно в результате замеров интенсивности движения и с использованием коэффициентов роста, можно сделать следующие выводы:

1. По ул. Володарского фактический поток меньше, чем прогнозируемый, на 16 %. Это объясняется, во-первых, исчерпанием пропускной способности улицы, в связи с чем скорость движения транспорта снижается, во-вторых, загромождением проезжей части паркуемыми автомобилями из-за отсутствия стоянок в центральной части города, в результате чего происходит сужение проезжей части. Анализ данных факторов показал, что пропуск автомобильного транспорта затруднен и фактически поток не увеличился по сравнению с 2005 годом.

2. По ул. Пушкина фактический поток больше, чем прогнозируемый, на 23 %. Но при увеличении прогнозируемого потока на 20 % в связи с тем, что ул. Пушкина является дублером ул. Суворова, где затруднено движение, можно считать, что прогнозируемый поток практически совпадает с фактическим.

3. По ул. Свердлова прогнозируемый поток меньше фактического на 5 %.

4. По ул. Чаадаева прогнозируемый поток больше фактического на 5 %.

В результате обследований интенсивности транспортного потока доказана эффективность применения метода экстраполяции с использованием коэффициентов роста. Расхождение в 5–10 % считается допустимым в связи с неравномерностью транспортного движения по дням недели и временам года. По результатам исследований можно определить необходимость реконструкции улиц в сечениях как на данный период, так и на перспективу при проектировании генерального плана города.

Список литературы

Круглов, Ю.В. Динамика автомобильных потоков за длительный промежуток времени на магистральной сети г. Пензы / Ю.В. Круглов, Ю.В. Семанин // Вопросы планировки и застройки городов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. проф. Ю.В.Круглова, доц. В.С. Глухова. – Пенза: ПГАСА, 2002. – С. 168–170.

References

Kruglov, Y.V. The dynamics of traffic flows over a long period of time on the network of Penza / Y.V. Kruglov, Y.V. Semanin // Problems of planning and development of cities: Proceedings of the International Scientific Conference / Ed. prof. Yu.V.Kruglova, Assoc. V.S. Glukhov. – Penza: PGASA, 2002. – P. 168–170.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 624: 519.7

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

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

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

Хнаев Олег Анатольевич,
студент

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

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

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

Khnaev Oleg Anatolievich,
student

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ: СЕЛЕКЦИЯ ИНФОРМАТИВНЫХ СИГНАЛОВ

И.А. Гарькина, А.М. Данилов, О.А. Хнаев

Определяется информационная значимость входных воздействий в динамической системе на основе частных функций когерентности. Предусматриваются возможности приложений к составлению и анализу вибрационных карт различных объектов, селекции информативных сигналов при проектировании систем мониторинга строительных конструкций, разработки тренажных и обучающих комплексов и др.

Ключевые слова: динамические системы, управление качеством, селекция информативных управляющих сигналов, частные функции когерентности.

QUALITY CONTROL OF DYNAMIC SYSTEMS: SELECTION OF INFORMATIVE SIGNALS

I.A. Garkina, A.M. Danilov, O.A. Khnaev

Information importance of control actions in a dynamic system based on private coherence functions is determined. Possible applications to the compilation and analysis of vibration cards of different objects, selection of informative signals for the design of monitoring systems of building constructions, the design of simulation and learning complexes are provided.

Keywords: dynamical systems, quality control, selection of informative control signals, partial coherence function.

Решение многих практических задач связано с проблемой разработки информационных моделей систем, изоморфных множеству их состояний: проектирование систем мониторинга различных строительных конструкций, имитационное моделирование и создание тренажных и обучающих комплексов для подготовки операторов эргатических систем, клиническая диагностика в медицине, вибродиагностика и др. [1...4]. Простота информационной модели определяется тем, насколько удастся выделить наиболее существенные параметры, характеризующие состояние системы (без потери их изоморфности). Решение такой задачи, безусловно, требует системного подхода к формированию управляющих воздействий для повышения качества управления (селекция, ранжировка; определение иерархической структуры). Во всей полноте все это возникает при проектировании имитаторов человеко-машинных систем. Так, взаимосвязь оператора и объекта осуществляется по информационным и информационно-исполнительным каналам. Информация о состоянии объекта и его систем поступает к оператору через систему отображения информации или воспринимается им непосредственно через зрительные, слуховые и т.д. рецепторы. В результате полученной оператором информации в центральной нервной системе формируется *текущая информационная модель* движения объекта. На основе ее сравнения с *концептуальной моделью* (сформированной в сознании оператора на основе обученности, тренировки, опыта) оператором формируются управляющие сигналы, передаваемые на органы управления (*информационно-исполнительная модель*). Функция оператора заключается в формировании управляющих воздействий. Для сокращения аналитической деятельности оператора в информационную модель должны включаться лишь наиболее существенные параметры состояния системы (множество информационных моделей состояния объекта должно быть изоморфно множеству состояний управляемого объекта). В этом случае возникает возможность изготовления наиболее простых обучающих и тренажных комплексов для подготовки операторов со значительным снижением случаев приобретения ложных навыков. Будем полагать, что исследуемые источники информации формализованы (неформализованные источники предполагаются *априори существенными*).

Как оказалось, для селекции информативных сигналов можно использовать

выборочные функции когерентности $\gamma_{xy}^2(f) = \frac{|S_{xy}(f)|^2}{S_{xx}(f) \cdot S_{yy}(f)}$ (позволяет определить

относительное качество измерения комплексной передаточной функции), а именно установить, какая часть энергии отклика коррелирована с энергией входного сигнала $x(t)$ (идентифицировать шум и другие множественные источники сигнала, влияющие на выходной сигнал $y(t)$). При использовании одного измерения функция когерентности регистрирует лишь единичное значение на всех частотах; поэтому целесообразно определение среднего значения для двух или более измерений входного и выходного сигналов.

Подчеркнем, *функция когерентности является аналогом коэффициента корреляции в частотной области и отражает степень линейной взаимосвязи гармонических компонент рассматриваемых процессов*. Чем ближе функция когерентности к единице на данной частоте f , тем больше совпадений гармонических составляющих на этой частоте.

Предлагаемый способ удобен тем, что он основан на определении выборочных элементов спектральных плотностей, которые, как правило, должны быть так или иначе получены при статистическом анализе случайных процессов. Целесообразность его применения определяется и наглядностью получаемых результатов с присущим функциям когерентности очевидным физическим смыслом.

Оператором режим движения объекта оценивается обобщенным вектором состояния, компоненты которого могут быть как отдельными величинами (скорость, ускорение, угловые координаты и т.д.), легко формализуемыми, так и целыми образа-

ми (звуковые, световые и др.); некоторые из них могут оказаться трудно формализуемыми. Знание оператором в каждый момент времени состояния объекта позволяет ему *приближенно* осуществить заданное движение на основе формирования управляющих воздействий. Если ограничиться формализуемыми входными сигналами $x_i(t), i = \overline{1, n}$, то рассматриваемая задача сведется к установлению их связи с каждым из управляющих воздействий $y_k(t), k = \overline{1, m}$.

Известно [5], при $|\sum f| > 0$,

$$\sum(f) = \begin{bmatrix} S_{11}(f) \dots S_{1n}(f) & S_{1y}(f) \\ \dots & \dots \\ S_{n1}(f) \dots S_{nn}(f) & S_{ny}(f) \\ S_{y1}(f) \dots S_{yn}(f) & S_{yy}(f) \end{bmatrix}$$

функция множественной когерентности на частоте f :

$$\gamma_{y.1,2,\dots,n}^2(f) = 1 - \frac{1}{S_{yy}(f) \cdot S^{yy}(f)}.$$

Здесь $S_{\alpha\beta}(f)$, $S_{\alpha y}(f)$ – взаимные спектральные плотности $x_\alpha(t)$ и $x_\beta(t)$, а также $x_\alpha(t)$ и $y_k(t)$ соответственно; $S_{yy}(f)$ – спектральная плотность $y_k(t)$; $S^{yy}(f)$ – последний элемент главной диагонали матрицы $\sum^{-1}(f)$, обратной к $\sum(f)$; $S_{y\alpha}(f) = S_{\alpha y}^*(f)$, где $S_{\alpha y}^*(f)$ комплексно сопряжена с $S_{y\alpha}(f)$.

Справедливо:

$$0 \leq \gamma_{y.1,2,\dots,n}^2(f) \leq 1.$$

Чем ближе значение функции множественной когерентности к 1, тем ближе связь между $y_k(t)$ и *всеми* $x_\alpha(t)$ к линейной; если $\gamma_{y.1,2,\dots,n}^2(f) = 0$, то связь отсутствует. При $\gamma_{y.1,2,\dots,n}^2(f) = 1$ связи являются линейными:

$$y_k(t) = L_{y1}[x_1(t)] + L_{y2}[x_2(t)] + \dots + L_{yn}[x_n(t)] + \omega(t),$$

где $L_{y\alpha}$ – линейные стационарные операторы; $\omega(t)$ – стационарный процесс, не связанный на всех частотах с процессами $x_\alpha(t)$ (функция множественной когерентности между $\omega(t)$ и $x_\alpha(t)$ равна нулю). Процесс $\omega(t)$ можно рассматривать как процесс, полученный из $y_k(t)$ путем исключения линейного эффекта $v(t)$ компонент $x_\alpha(t)$:

$$y_k(t) = v(t) + \omega(t).$$

Процесс $v(t)$ полностью когерентен компонентам $x_\alpha(t)$, а $\omega(t)$ полностью не когерентен $x_1(t), \dots, x_n(t)$.

Теоретически величина функции множественной когерентности не всегда служит хорошей характеристикой связи между $y_k(t)$ и $x_\alpha(t)$. Кажется бы, при значении функции когерентности между $x_1(t)$ и $y(t)$, близкой к единице, есть основание

считать, что их можно рассматривать как вход и выход некоторой линейной системы. Но если существует процесс $x_2(t)$, когерентный с $x_1(t)$ и дающий вклад в $y(t)$ после прохождения через линейную систему, то высокая когерентность между $x_1(t)$ и $y(t)$ может отражать лишь тот факт, что когерентность между $x_1(t)$ и $x_2(t)$ также высока; а процесс $x_2(t)$ связан с $y(t)$ через некоторую линейную систему. В действительности $x_1(t)$ и $y(t)$ могут быть не связаны никакой физической системой. Поэтому для получения надежных результатов о связи между $y_k(t)$ и $x_\alpha(t)$ лучше использовать функцию *условной (частной) множественной* когерентности. Она позволяет установить, в какой степени $y_k(t)$ на частоте f связана линейным стационарным оператором $x_i(t)$ после того, как из $y_k(t)$ исключено влияние линейных, не зависящих от времени связей с другими составляющими $x_1(t), \dots, x_{i-1}(t), x_{i+1}(t), \dots, x_n(t)$. Для предыдущего случая функция частной когерентности между $x_1(t)$ и $y(t)$ будет близка к нулю, а функция частной когерентности между $x_2(t)$ и $y(t)$ – близка к единице.

Функция частной множественной когерентности определяется в виде:

$$\sum_{i|1,2,\dots,i-1,i+1,\dots,n}(f) = A - BD^{-1}C = \begin{bmatrix} a_{11}(f) & a_{12}(f) \\ a_{21}(f) & a_{22}(f) \end{bmatrix}, \quad a_{21}(f) = a_{12}^*(f);$$

$$A = \begin{bmatrix} S_{yy} & S_{yi} \\ S_{iy} & S_{ii} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} S_{y1} & S_{y2} & \dots & S_{y(i-1)} & S_{y(i+1)} & \dots & S_{ym} \\ S_{i1} & S_{i2} & \dots & S_{i(i-1)} & S_{i(i+1)} & \dots & S_{in} \end{bmatrix},$$

$$C = \begin{bmatrix} S_{1y} & S_{1i} \\ S_{2y} & S_{2i} \\ \vdots & \vdots \\ S_{(i-1)y} & S_{(i-1)i} \\ S_{(i+1)y} & S_{(i+1)i} \\ \vdots & \vdots \\ S_{ny} & S_{ni} \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1(i-1)} & S_{1(i+1)} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2(i-1)} & S_{2(i+1)} & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{(i-1)1} & S_{(i-1)2} & \dots & S_{(i-1)(i-1)} & S_{(i-1)(i+1)} & \dots & S_{(i-1)n} \\ S_{(i+1)1} & S_{(i+1)2} & \dots & S_{(i+1)(i-1)} & S_{(i+1)(i+1)} & \dots & S_{(i+1)n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{n1} & S_{n2} & \dots & S_{n(i-1)} & S_{n(i+1)} & \dots & S_{nn} \end{bmatrix}.$$

Из предыдущего непосредственно следует:

$$\gamma_{iy|1,2,\dots,i-1,i+1,\dots,n}^2(f) = \frac{|a_{21}(f)|^2}{a_{22}(f) \cdot a_{11}(f)}$$

(для определения передаточных функций человека-оператора целесообразно использовать соотношение $W_i(jf) = \frac{a_{21}(f)}{a_{22}(f)}$).

Таким образом, для *селекции информативных сигналов и их ранжировки необходимо:*

- произвести синхронные измерения сигналов $x_i(t)$ и $y_k(t)$ в процессе нормальной эксплуатации;
- определить элементы матриц A, B, C, D ;

– вычислить элементы матрицы $\sum_{i|1,2,\dots,i-1,i+1,\dots,n}(f)$, и для каждого значения i определить функции частной когерентности

$$\gamma_{i|1,2,\dots,i-1,i+1,\dots,n}^2(f) = \frac{|a_{21}(f)|^2}{a_{22}(f) \cdot a_{11}(f)};$$

– расположить $x_i(t)$ в порядке убывания значений функций частной когерентности (чем больше информационная значимость сигнала, тем выше его ранг).

Заметим, что не всегда по данным нормальной эксплуатации можно установить, какие из процессов являются входными, какие – выходными (часто следствие принимается за причину); требуется когнитивное моделирование с построением орграфа (относится не только к замкнутым системам). В некоторых случаях направление «вход-выход» можно установить по расположению максимумов взаимных корреляционных функций. Если взаимная корреляционная функция достигает максимума $R_{x_j x_i}(\tau_0) = R_{\max}$ при $\tau_0 < 0$, то входом следует считать $x_j(t)$; при $\tau_0 > 0$ – $x_i(t)$.

Подчеркнем также, что линейные зависимости, устанавливаемые по функциям частной когерентности, не обязательно единственны.

Приведенная методика эффективно использовалась при разработке уникальных систем для подготовки операторов эргатических систем [3]. Возможности адаптации приведенной методики ранжировки входных сигналов для формирования управляющих воздействий очевидны и не требуют дополнительных пояснений.

Список литературы

1. Вознюк, А.Б. Мониторинг грунтов оснований высотных зданий методом ветровых колебаний. Инженерно-экологические изыскания в строительстве: теоретические основы, методики, методы, практика / А.Б. Вознюк [и др.] // Сергеевские чтения. – М., 2006. – Вып.8. – С. 271–274.
2. Юдахин, Ф.Н. Микросейсмические колебания – важный источник информации / Ф.Н. Юдахин // Вестник Уральского отделения РАН. – 2010. – №3 (33). – С.65–73.
3. Авиационные тренажеры модульной архитектуры: монография / Э.В. Лапшин, А.М. Данилов, И.А. Гарькина, Б.В. Ключев, Н.К. Юрков; под ред. Э.В. Лапшина, д.т.н., проф. А.М. Данилова. – Пенза: ИИЦ ПГУ, 2005. – 146 с.
4. Кулаичев, А.П. Об информативности когерентного анализа в исследованиях ЭЭГ / А.П. Кулаичев // Журнал высшей нервной деятельности. – 2009. – №59(6). – С. 766–775.
5. Гудмен, Н. Вычисление матрицы частотных характеристик и функций множественной когерентности / Н. Гудмен // Измерение и анализ случайных процессов / Д. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1974. – С. 448–464.

References

1. Voznuk, A.B. Monitoring of soil and other high-rise buildings by reason of wind fluctuations. Engineering and environmental studies in construction: theory, techniques, methods, and practice / A.B. Voznuk // Sergeevskie reading. – M., 2006. – Vol.8. – P. 271–274.
2. Yudakhin, F.N. Microseisms – an important source of information / F.N. Yudakhin // Bulletin of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. – 2010. – № 3 (33). – P.65–73.
3. Flight Simulators of modular architecture: monograph / E.V. Lapshin, A.M. Danilov, I.A. Garkina, B.V. Klyuyev, N.K. Yurkov; Editors E.V. Lapshin, A.M. Danilov. – Penza: Information and publishing center, Penza State University, 2005. – 146 p.
4. Kulaichev, A.P. Coherent analysis of information content in the EEG / A.P. Kulaichev // Journal of Higher Nervous Activity. – 2009. – № 59 (6). – P. 766–775.
5. Goodman, N. Calculation of the matrix of frequency characteristics and functions of multiple coherence / N. Goodman // Measurement and analysis of random processes / J. Bendat, A. Piersol. – M.: Mir, 1974. – P. 448–464.

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

Хрусталеv Борис Борисович,
доктор экономических наук, профессор,
зав. кафедрой «Экономика, организация
и управление производством»
E-mail: hrustalev_bb@mail.ru

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

Учаева Татьяна Владимировна,
аспирант кафедры «Стандартизация,
сертификация и аудит качества»

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

Khrustalev Boris Borisovich,
Doctor of Economics, Professor, Head of the
Department «Economics, Organization and
Management»
E-mail: hrustalev_bb@mail.ru

Loganina Valentina Ivanovna,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Standardization, Certification
and Quality Auditing»
E-mail: loganin@mai.ru

Uchaeva Tatiana Vladimirovna,
Postgraduate of the department
«Standardization, Certification and Quality
Auditing»

ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛОМ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Б.Б. Хрусталеv, В.И. Логанина, Т.В. Учаева

Представлена многофакторная модель потенциала конкурентоспособности. Разработана система показателей оценки потенциала конкурентоспособности предприятия стройиндустрии и его составляющих элементов. Предложено оценку эффективности деятельности предприятий стройиндустрии осуществлять на основе интегрального показателя уровня использования потенциала предприятия.

Ключевые слова: потенциал конкурентоспособности, статистические методы, стабильность производственного процесса.

ORGANIZATIONAL ECONOMIC MANAGEMENT MECHANISM OF BUILDING MATERIALS COMPANIES COMPETITIVE POTENTIAL

B.B. Khrustalev, V.I. Loganina, T.V. Uchaeva

A multiple-factor model of competitiveness potential is offered. The system of indicators of the potential competitiveness assessment of the building industry enterprise and its components of elements is developed. It is offered to carry out the efficiency of enterprises activity of building industry on the basis of the integrated indicator of capacity level of the enterprise.

Keywords: competitive potential, statistical methods, the stability of the production process.

Одним из приоритетов развития промышленности строительных и отделочных материалов является расширение ассортимента и повышение конкурентоспособности продукции отечественных производителей, внедрение новых, ресурсосберегающих технологий производства. Прогноз развития промышленности строительных мате-

риалов на среднесрочную перспективу предусматривает рост объема промышленной продукции отрасли в среднем на 5–7 % в год.

В связи с вступлением России в ВТО отечественная промышленность строительных материалов, изделий и конструкций будет поставлена в условия жесткой конкуренции. Многие предприятия отрасли нуждаются в инвестиционных ресурсах на техническое перевооружение. Степень износа основных фондов в отрасли, по разным оценкам, достигла 53–54 %, при этом ежегодное выбытие мощностей превышает ввод. Средний возраст основной части машин и оборудования – 17 лет.

Формирование конкурентоспособного потенциала предприятия напрямую связано с возможностями производственного потенциала этого предприятия. Предлагается следующая модель потенциала конкурентоспособности предприятия:

$$K_{\pi} = \sum_{i=1}^m \alpha_i Q_i, \quad (1)$$

где α_i – значимость показателя частного потенциала, %; Q_i – относительная оценка i -го показателя частного потенциала, баллы; m – количество показателей в оценке потенциала организации.

Выделены восемь элементов потенциала конкурентоспособности предприятия [1]. Для оценки коэффициентов весомости каждого элемента применяли экспертный метод. В отличие от известных методик она включает в себя субпотенциал, характеризующий состояние производственного процесса, – стабильность и воспроизводимость производственного процесса [2, 3].

В табл. 1 приведены значения коэффициентов весомости, полученные экспертным методом.

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Наименование показателей	Номер эксперта					Коэффициент весомости
		1	2	3	4	5	
							0
1	Человеческие ресурсы	8	6	5	5	5	0,127
2	Финансовые ресурсы	7	8	8	8	8	0,170
3	Состояние производственного процесса	6	8	8	8	8	0,166
4	Информация	4	2	3	2	2	0,067
5	Инфраструктура	3	4	4	4	4	0,083
6	Производственная среда	3	3	3	4	3	0,069
7	Управление	8	8	8	8	8	0,175
8	Анализ рынка	7	7	7	7	7	0,153

Максимальная оценка потенциала конкурентоспособности предприятия может составлять:

$$K_{\max.\pi} = (5 \cdot 0,127 + 5 \cdot 0,170 + 5 \cdot 0,166 + 5 \cdot 0,067 + 5 \cdot 0,083 + 5 \cdot 0,069 + 5 \cdot 0,175 + 5 \cdot 0,153) = 5,00.$$

Использование потенциала конкурентоспособности предприятия предложено рассчитывать по формуле

$$Y_{\pi.к} = \frac{K_{\pi}}{K_{\max.\pi}}, \quad (2)$$

где $K_{\max.\pi}$ – максимально возможный потенциал конкурентоспособности предприятия, равный 5,0.

Был проведен анализ потенциала конкурентоспособности некоторых предприятий стройиндустрии Пензенского региона. В табл.2 приведена обобщенная количественная

оценка потенциала конкурентоспособности некоторых предприятий стройиндустрии Пензенской области.

Т а б л и ц а 2

Оценка потенциала конкурентоспособности предприятий стройиндустрии Пензенской области

№ п/п	Наименование показателей	Баллы/Оценка потенциала			
		Завод ОАО ЖБК-1	ООО «Стеновые материалы»	ОАО «Домо-строитель»	ОАО «Карьеро-Управление»
1	Человеческие ресурсы	4/0,508	3/0,381	3/0,381	2/0,254
2	Финансовые ресурсы	4/0,68	3/0,51	3/0,51	3/0,51
3	Состояние производственного процесса	4/0,664	3/0,498	4/0,0,664	2/0,332
4	Информация	3/0,201	2/0,134	2/0,134	2/0,134
5	Инфраструктура	5/0,415	2/0,166	3/0,249	2/0,166
6	Производственная среда	5/0,345	2/0,138	3/0,207	2/0,138
7	Управление	3/0,525	3/0,525	3/0,525	3/0,525
8	Анализ рынка	4/0,612	4/0,612	3/0,459	3/0,459
	Производственный потенциал	3,95	2,352	3,129	2,059
	Использование потенциала	0,78	0,4657	0,619	0,4077

Результаты расчетов, приведенные в табл.2, свидетельствуют, что предприятия стройиндустрии далеко не полностью используют свои резервы для повышения конкурентоспособности. Так, если ОАО «Завод ЖБК-1» использует потенциал конкурентоспособности только на 78 %, то ООО «Стеновые материалы» – только на 46,57 %, ОАО «Карьероуправление» – на 40,77 %.

Был проведен расчет изменения потенциала конкурентоспособности предприятия в связи с применением статистического управления качеством продукции [4,5]. Результаты расчета свидетельствуют, что использование только методологии статистического мышления в управлении качеством строительной продукции позволят значительно повысить потенциал конкурентоспособности предприятия. Так, например, на предприятии ОАО «Завод ЖБК-1» потенциал конкурентоспособности повысился с 3,95 до 4,466, а на ООО «Строительные материалы» – с 3,129 до 3,654 (табл.3).

Т а б л и ц а 3

Наименование показателей	Наименование предприятий			
	ОАО «Завод ЖБК-1»	ООО «Строительные материалы»	ОАО «Домо-строитель»	ОАО «Карьеро-управление»
Потенциал	3,95	2,352	3,129	2,059
Использование потенциала	0,78	0,4657	0,619	0,4077
Потенциал конкурентоспособности после применения статистических методов управления качеством	4,466	3,034	3,645	2,907
Использование потенциала	0,884	0,60	0,7217	0,5756

Таким образом, применение статистических методов управления качеством позволило предприятию достичь высокого уровня использования потенциала конкурентоспособности предприятия, стабильности производственной и социальной ситуации в производстве, минимальных дополнительных издержек производства и незначительных сбоев и отказов системы при создании конечной продукции («Завод ЖБК-1»). Остальные предприятия, несмотря на повышение потенциала конкурентоспособности, все еще характеризуются ростом дополнительных издержек производства и наличием в системе сбоев и отказов, низкой степенью стабильности обеспечения показателей качества продукции.

Для таких предприятий обязательным условием является применение инструментов реинжиниринга (методология «шесть сигм», функции развертывания качества QFD, методы Тагути и т.д.) [6, 7].

Список литературы

1. Данилов, А.М. Анализ показателей качества лакокрасочных покрытий методом главных компонент / А.М. Данилов, В.И. Логанина, В.А. Смирнов // Известия КазГАСУ. – 2009 – №9 – С. 243.
2. Логанина, В.И. К вопросу о регулировании технологических процессов производства бетона // Известия вузов. Строительство. – 2009 – №3-4. – С.42–46.
3. ГОСТ Р 50.1.018–98. Обеспечение стабильности технологических процессов в системах качества по моделям стандартов ИСО серии 9000. – М.: Изд-во стандартов, 1998.
4. Логанина, В.И. К вопросу о системе контроля качества на предприятиях стройиндустрии / В.И. Логанина, Т.В. Учаева // Региональная архитектура и строительство. – 2010. – №1. – С.33–36.
5. Логанина, В.И. Разработка методики непрерывного улучшения деятельности организации на основе применения методов статистического управления процессами / В.И. Логанина, Т.В. Учаева, Т.С. Хананина // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», т.11 Пенза-2010. – С.374–375.
6. Логанина, В.И. Применение методологии «шесть сигм» при контроле качества продукции / В.И. Логанина, А.А. Федосеев, П.В. Логанин // Строительные материалы. – 2008. – №8. – С.100–101.
7. Логанина, В.И. Организация статистического приемочного контроля качества строительных изделий и конструкций / В.И. Логанина // Строительные материалы. – 2008. – №8. – С.98–99.

References

1. Danilov, A.M. Analiz quality coatings Principal component / A.M. Danilov, V.I. Loganina, V.A. Smirnov // News KSUAE. – 2009. – № 9. – P. 243.
2. Loganina, V.I. On the question of the regulation of production processes duction of concrete // Trans. Construction. – 2009. – № 3-4. – P.42–46.
3. GOST P 50.1.018–98. Ensuring the stability of technological hyper cesses in systems of quality brands ISO 9000. – M.: Publishing House of Standards, 1998.
4. Loganina, V.I. On the question of quality control for construction enterprises / V.I. Loganina, T.V. Uchaeva // Regional architecture and engineering. – 2010 – № 1. – P.33–36.
5. Loganina, V.I. Development of methodology for continuous improvement of the organization through the application of statistical process control / V.I. Loganina, T.V. Uchaeva, T.S. Hananina // Proceedings of the International Symposium «The reliability and quality». Penza t.11-2010. – P.374–375.
6. Loganina, V.I. Application of the methodology of the "six sigma" quality control of products / V.I. Loganina, A.A. Fedoseev P.V. Loganin // Building Materials. – 2008. – № 8. – P.100–101.
7. Loganina, V.I. Organization of acceptance of quality control of construction products and / V.I. Loganina // Building Materials. – 2008. – № 8. – P.98–99.

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

Резник Галина Александровна,
доктор экономических наук,
профессор, зав. кафедрой «Маркетинг
и экономическая теория»
E-mail: miet@pguas.ru

Малышев Алексей Алексеевич,
кандидат экономических наук, доцент
кафедры «Маркетинг и экономическая
теория»
E-mail: miet@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

Reznik Galina Aleksandrovna,
Doctor of Economics, Professor,
Head of the department «Marketing
and the economic theory»
E-mail: miet@pguas.ru

Malyshev Alexey Alekseevich,
Candidate of Economic Sciences, lecturer of
the department «Marketing and the economic
theory»
E-mail: miet@pguas.ru

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФАКТОР КАК КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ БЛАГОСОСТОЯНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ПЕНЗЕНСКОГО РЕГИОНА*

Г.А. Резник, А.А. Малышев

Представлен анализ факторов, формирующих благосостояние населения на каждом из этапов развития общества, которые классифицированы по следующим группам: ресурсно-технологические, экономические, социальные, культурные, экологические, институциональные, географические, административные. Приведена методика оценки благосостояния населения с учётом эколого-экономического фактора.

Ключевые слова: благосостояние населения, оценка, критерий оценки, эколого-экономический фактор.

ECOLOGICAL AND ECONOMICAL FACTOR AS A CRITERION OF POPULATION WELFARE ASSESSMENT IN THE PENZA REGION

G.A. Reznik, A.A. Malyshev

They have offered an analysis of factors making up population welfare on every stage of society development that are classified into following groups: resource-technological, economical, social, cultural, ecological, institutional, geographical, administrative. Methodology of population welfare estimation is worked out taking into account ecological and economical factor.

Keywords: welfare of the population, assessment, criterion of an assessment, ecological and economic factor.

Благосостояние – это широкое, емкое понятие, представляющее собой сложный социально-экономический феномен, объединяющий и включающий различные характеристики уровней, образа и качества жизни населения. Исследование благосостояния показывает, что эта проблема многоуровневая и многоаспектная. На каждом из временных этапов ученые акцентировали внимание либо на общественном, либо на индивидуальном благосостоянии, рассматривали проблему соотношения индивидуального и общественного благосостояния, анализировали роль государства в его обеспечении, исследовали влияние различных факторов, оказывающих влияние на его уровень.

Общество, как и экономика, не стоит на месте, оно постоянно изменяется, переходя с одной стадии развития на другую, более высокую. Такой переход, как правило,

* Статья подготовлена в рамках научно-исследовательского проекта «Механизмы повышения экономического благосостояния в условиях постиндустриальной экономики», проект № МК – 974.2011.6.

сопровождается изменением общего благосостояния в целом за счет усиления или уменьшения степени влияния тех или иных факторов, формирующих благосостояние. Другими словами, каждому уровню развития, которого достигает общество, соответствует определенный уровень жизни общества с использованием тех или иных факторов, реализация которых и предопределяет этот уровень.

Для ранних стадий развития общества характерным было удовлетворение простейших потребностей – наличие благ у разных индивидуумов. Поэтому в то время основное значение имели экономические и материальные факторы. Общественный характер труда и его развитие обусловили высвобождение дополнительного времени, необходимого индивидууму, что привело к появлению новых видов потребностей и благ, где весомую роль стали играть многие другие факторы. Ресурсы, используемые в производстве, полностью изменили экономическую структуру материальной основы развития общества; полнота их использования определяет уровень благосостояния в обществе целом, и, в первую очередь, его внутреннее содержание.

Для того чтобы показать, как изменились факторы, формирующие благосостояние, присущие определенной стадии развития, необходимо остановиться на характеристике всей совокупности обстоятельств, которые оказывают влияние на благосостояние общества, и выделить важнейшие. В эволюции современной социально-экономической системы индивидуальное благосостояние становится основанием для общественного благосостояния, что находит отражение в формах взаимосвязи процессов государственного регулирования и рыночных взаимодействий субъектов хозяйствования, в строении государственного бюджета, внебюджетных фондов, а также в участии государства в инвестиционном процессе и социальной сфере.

Любое направление деятельности, совершаемое в экономике, в той или иной степени постоянно сталкивается с проблемой распределения ограниченного количества ресурсов с соответствующей системой их использования, имеет не только экономическую, но и экологическую и социальную окраску. В период реформирования экономики (90-е годы XX века) эколого-экономическому развитию, направленному на повышение уровня и качества жизни граждан, уделялось недостаточное внимание, что в значительной мере тормозило дальнейшее продвижение страны по пути социально-эколого-экономического прогресса.

Кроме того, наряду с экономическими и политическими изменениями в обществе, подверглись трансформации и нравственные критерии, нормы, представления всех членов общества о социальном неравенстве. Это привело к смещению акцентов, приоритетов, а также к резкой дифференциации интересов различных социальных групп. Появился большой слой незащищенного населения, что обострило социально-личностную неустойчивость и еще большее неравенство, проявляющееся в увеличении доли населения с низкими доходами (эта проблема, особенно ярка в сельской местности (в сравнении с городскими поселениями и внутри сельских поселений), что не способствует росту уровня благосостояния.

Одним из постоянно наблюдаемых феноменов в современной экономике стало нарастание социальной усталости и пассивности населения, снижение ожидания благополучного будущего, сужение горизонтов хозяйственного, личного и семейного социально-экономического благополучия. Особенно ярко это наблюдается в сельской местности, где происходит практически люмпенизация населения. Проблема заключается в том, что личная заинтересованность индивидуумов в настоящий момент мало совмещена с государственными интересами, все это приводит к снижению степени общего благосостояния и увеличению его у отдельных индивидуумов, которые представлены немногочисленной прослойкой общества. В итоге, происходит растрата природных, экологических, материальных и людских ресурсов страны, накопленного ранее квалификационного, интеллектуального, духовного и физического потенциала народа.

Наряду с уровнем дохода работника, который является одним из главных факторов, определяющим уровень благосостояния, также значимыми являются уровень и качество образования. Качество образования становится товаром каждой личности как субъекта производственно-рыночных отношений и важнейшим фактором конкурентоспособности производимых работником товаров.

Уровень благосостояния во многом зависит от места и условий проживания. Условия в различных регионах и районах страны неодинаковы, соответственно, как и

уровень доходов, природно-климатические условия, потребление населения, жилищный минимум и т.п. Даже если сравнивать два региона, находящиеся по соседству, то можно наблюдать существенные отличия во всем.

Еще один не менее важный фактор демографический. Демографическая ситуация общества является важнейшим ориентиром производственной и социальной политики. Здоровье нации непосредственно зависит от индивидуального благополучия граждан, от качества окружающей среды, персональной и коллективной безопасности и др.

Все вышеперечисленные факторы можно классифицировать на восемь основных групп, определяющих благосостояние:

1-я группа – Ресурсно-технологические факторы:

- природно-сырьевая база;
- численность экономически активного населения;
- качество рабочей силы;
- профилирующие и вспомогательные отрасли;
- инновационность технологии выпуска.

2-я группа – Экономические факторы:

- тип экономической системы (командно-административная, рыночная, социально-ориентированная, смешанная, корпоративная);
- степень индустриального развития общества (доиндустриальное, индустриальное, постиндустриальное и неоиндустриальное производство);
- конкуренция на товарных рынках (товарное производство неразвитого рынка и товарное производство свободного рынка);
- степень монополизации экономики;
- производительность труда;
- модернизация экономики;
- тип экономического роста (интенсивный и экстенсивный).

3-я группа – Социальные факторы:

- социально-классовая структура общества;
- дифференциация населения по объёму располагаемых денежных доходов и видам собственности;
- уровень заболеваемости;
- продолжительность жизни;
- уровень преступности;
- уровень развития социальной инфраструктуры.

4-я группа – Культурные факторы:

- национальный менталитет;
- обычаи и традиции;
- культура производства;
- культура потребления;
- ценностные ориентации национального потребительского сообщества.

5-я группа – Экологические факторы:

- природно-климатические условия жизнедеятельности;
- состояние окружающей среды;
- уровень загрязнения воздуха, воды, почвы.

6-я группа – Институциональные факторы:

- социальное законодательство;
- законодательная защита прав собственности;
- институт семьи, права, собственности.

7-я группа – Географический фактор:

- место расположения;
- условия.

8-я группа – Административные факторы:

- социальная политика государства;
- социальная защита населения;
- антиинфляционная политика;

- политика доходов и занятости населения;
- государственные целевые программы.

Эти группы факторов сложились благодаря условиям, сформировавшимся в обществе в процессе производства, распределения и потребления создаваемых благ; формирование определенного уровня благосостояния зависит всецело от их взаимодействия и взаимосвязи.

В современных условиях, когда основной характеристикой развитого общества становится его социальная направленность, особое внимание необходимо уделить анализу влияния эколого-экономических факторов на уровень благосостояния. Анализ экологической обстановки в РФ показывает, что динамика образования токсичных отходов производства за последние 16 лет имеет тенденцию к росту и выражается такими числами (млн т): в 1994 г. – 75,1, в 1995 г. – 83,3, в 1999 г. – 108,1 и в 2000 г. – 131,1, в 2005 г. – 142, в 2006 г. – 140, в 2007 г. – 288, в 2008 г. – 123, в 2009 г. – 141, в 2010 г. – 114 [6,7].

По данным федеральной службы статистического наблюдения, в период с 2006 по 2010 г. в РФ уровень загрязнения атмосферного воздуха изменялся в значительных пределах от 26,7 до 22,5 тыс. т (см. таблицу). Основной вклад в выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников вносят предприятия машиностроения, приборостроения, производства стройматериалов, деревообрабатывающей промышленности, медицинского приборостроения и производства медицинских препаратов, теплоэнергетические предприятия. Все возрастающее влияние на загрязнение атмосферного воздуха оказывает автотранспорт – 50 % выбросов от их общего количества [2, с. 28–30].

В то же время произошло уменьшение сброса загрязненных вод со 137,3 тыс. м³ в 2006 г. до 101,1 тыс. м³ в 2010 г.

Динамика показателей оценки эколого-экономического фактора за период 2006–2010 гг.

Показатели эколого-экономического фактора		Годы					Ед. измерений
		2006	2007	2008	2009	2010	
Уровень загрязнения окружающей среды	Выбросы в атмосферу	35,3	35,3	33,7	32,3	32,3	тыс. т
	Сброс загрязненных вод	17,5	17,2	17,1	15,9	млн м ³
Степень развития утилизации и обезвреживания производства и потребления	Уловлено и обезврежено веществ, сбрасываемых в атм. воздух	61,1	61,3	60,2	53,3	59,5	тыс. т
	Оборотная и последовательно используемая вода	143	144	144	137	млн м ³

Составлено на основе работ [7, 8].

Уменьшение загрязнения окружающей среды связано с кризисными явлениями в экономике начиная с 2008 г., так как на предприятиях снизились объемы производства.

Выявлена тенденция уменьшения уловленных и утилизированных отходов производства. Так, в 2006 г. уловлено и обезврежено загрязняющих веществ 42,3 тыс. т, а в 2010 г. – 21,9 тыс. т. В 2007 г. увеличилось количество уловленных и обезвреженных веществ до 45 тыс. т., сбрасываемых в атмосферный воздух, что составляет максимум для рассматриваемого периода. Уменьшилось количество оборотной и последовательно используемой воды с 77,1 до 68,5 млн м³ в 2006 и в 2010 гг. Это свидетельствует о том, что уменьшается внимание руководства предприятий к охране окружающей среды.

Таким образом, за последние пять лет усилилась нагрузка человеческой деятельности на природную среду Пензенского региона. Все в большей мере загрязнителем атмосферного воздуха выступает автомобильный транспорт, а водных ресурсов региона – промышленное и сельскохозяйственное производство. Снижение объемов

производства в связи с кризисными явлениями в экономике РФ привело к некоторому снижению уровня загрязнения окружающей среды [3, с. 47].

Возрастающая динамика текущих затрат на окружающую среду и здравоохранение с 24,8 млн руб. в 2007 г. и до 37,1 млн руб. в 2010 г. привела к увеличению продолжительности жизни населения с 65,2 лет в 2005 г. до 69,2 лет в 2010 г., вырос среднедушевой доход населения с 52540 руб. в 2005 (в год) до 110022 руб. (в год) в 2010 г., увеличилась величина прожиточного минимума с 3018 руб. (в месяц) в 2005 г. до 5688 руб. (в месяц) в 2010 г. Всё это свидетельствует о расходах и сбережениях населения, которое увеличилось с 0,7 млрд руб. в 2005 г. и до 2,06 млрд руб. в 2010 г.

Таким образом, учет экологической компоненты при оценке уровня благосостояния позволяет корректно оценивать результаты экономической деятельности и их влияние на изменение качества жизни населения.

Оценка эколого-экономического фактора благосостояния населения требует алгоритма его расчёта. Для оценки эколого-экономического фактора благосостояния населения следует использовать интегрированный индикатор эколого-экономических показателей благосостояния населения на основе методики, предложенной Амартьей Сенем (Индия).

Данная методика основана на использовании индекса развития человеческого потенциала (ИРЧП), который представляет собой интегральную многоуровневую индексную оценку социального и экономического фактора благосостояния населения и состоит из четырёх индексов: индекс дохода, индекс долголетия, индекса образования [9, с. 93]. Данная методика получила развитие в работах Власова Ю.С., который дополнил её, включив в расчёт оценки уровня благосостояния индекс состояния окружающей среды.

Анализ эколого-экономических показателей, предоставляемых российской статистикой, показывает, что для оценки эколого-экономического фактора благосостояния населения в рамках методологии ИРЧП пригодны лишь самые общие: объёмные показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, отходящих от стационарных источников, и сброс загрязнённых вод в водоёмы.

Индекс состояния окружающей среды (ИСОС) разрабатывается как частный индикатор экологизированного индекса развития человеческого потенциала (ИРЧПэ) и полностью опирается на принципы построения и агрегирования индекса развития человеческого потенциала, а также на доступные данные региональной статистики.

Базовые эколого-экономические показатели индексируются и включаются в общий индекс состояния окружающей среды в долях отражающих степень воздействия каждого фактора на здоровье человека. В индексе также учитывается неравномерность распределения загрязнения в пространстве. Полагается, что население, проживающее вдали от источников загрязнений, как правило, в сельской местности, получает меньший ущерб здоровью

$$\text{ИСОС} = [1 - (3/4\text{ИОВ} + 1/4\text{ИОС})] \cdot \text{У}, \quad (1)$$

где ИСОС – индекс состояния окружающей среды; ИОВ – индекс объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, отходящих от стационарных источников; ИОС – индекс объемов сбросов сточных вод в поверхностные водоёмы; У – коэффициент урбанизации: доля городского населения в общей численности населения региона [2, с. 19].

ИСОС для Пензенского региона составляет 0,468, что свидетельствует о среднем загрязнении окружающей среды.

Эколого-экономический ИРЧП (ИРЧПэ) выполняет две основные функции: во-первых, позволяет оценить развитие человеческого потенциала в РФ с учетом эколого-экономического фактора; во-вторых, обеспечивает возможность сопоставления успешности развития региона во времени и в пространстве с другими регионами РФ.

Расчет ИРЧПэ и его сопоставление с традиционным ИРЧП показывает, что состояние окружающей среды несколько снижает динамику роста индекса развития человеческого потенциала. Средняя динамика традиционного ИРЧП для России за период 2000–2006 гг. составляет 101,21 %, индекс состояния окружающей среды демонстрирует отрицательную среднюю динамику в 99,81 %, экологизированный

ИРЧП – 101,11 %. Расчёт ИЧРП = 0,805, ИЧРПэ = 0,770. Расчёт показывает, что РФ промышленно развивается, и уменьшается благополучие экологической ситуации, однако, высокий уровень доходов и развитость социального сектора способствуют стабильности благосостояния населения РФ.

Таким образом, расчет эколого-экономического индекса развития человеческого потенциала в том виде, в котором он представлен, позволяет наметить подход к оценке эколого-экономического фактора благосостояния населения, определить перспективы и проблемы его применения для оценки развития региона.

Список литературы

1. Биле, С. Способы измерения благосостояния региона / С. Биле. – М.: Дело, 1993. – 423 с.
2. Власов, Ю.С. Оценка экологической составляющей человеческого потенциала Челябинской области / Ю.С. Власов // Вестник Московского университета. – 2009. – №5.
3. Резник, Г.А. Анализ и оценка потенциала устойчивости эколого-экономической системы / Г.А. Резник, А.А. Малышев // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – №1. – С.28–30.
4. Резник, Г.А. Разработка модели управления устойчивостью эколого-экономической системы / Г.А. Резник, А.А. Малышев // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. – 2011. – №24. – С.47–53.
5. Резник, Г.А. Эволюция теоретических подходов к анализу экономического благосостояния / Г.А. Резник, С.Г. Чувакова // Журнал экономической теории. – 2011. – №3. – С.28–30.
6. Резник, Г.А. Механизмы управления устойчивостью эколого-экономической системы: моногр. / Г.А. Резник, А.А. Малышев. – Саарбрюкен (Германия): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – С. 112–132.
7. Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов в 2005–2010 гг.: статистический бюллетень. – М., 2011. – С.5–47.
8. Основные показатели охраны окружающей среды Пензенской области. 2005–2010: Стат. сб./Пензастат. – Пенза, 2011. – С.10–64.
9. The Quality of Life / Ed. By Martha C. Nussbaum and Amartya Sen. – N.Y., 1993.

References

1. Biel, C. Methods of measuring the welfare of the region / C. Biel. – M.: Case, 1993. – 423 p.
2. Vlasov, Y.S. Assessment of the environmental component of the human potential of the Chelyabinsk region / Y.S. Vlasov // Bulletin of Moscow University. – 2009. – № 5.
3. Reznik, G.A. Analysis and assessment of the potential environmental and economic sustainability of the system / G.A. Reznik, A.A. Malyshev // Regional Architecture and Construction. – 2012. – № 1. – P.28–30.
4. Reznik, G.A. Development of a model management of environmental and economic sustainability of the system / G.A. Reznik, A.A. Malyshev // News PGPU them. VG Belinsky. – 2011. – № 24. – P.47–53.
5. Resnick, G.A. Evolution of theoretical approaches to the analysis of economic welfare / G.A. Resnick, S.G. Chuvakova // Journal of Economic Theory. – 2011. – № 3. – P.28–30.
6. Reznik, G.A. The mechanisms controlling the stability of eco-economic system: monogr. / G.A. Reznik, A.A. Malyshev. – Saarbruchen (Germany): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – С. 112–132.
7. Regions of Russia. The main socio-economic indicators of the cities in 2005, 2010: Bulletin of Statistics. – M., 2011. – P.5–47.
8. Main indicators environmental protection of the Penza region. 2005–2010: To become. cb./Penzastat. – Penza, 2011. – P. 10–64.
9. The Quality of Life / Ed. By Martha C. Nussbaum and Amartya Sen. – N.Y., 1993.

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

Кузин Николай Яковлевич,
кандидат технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Экспертиза и управление
недвижимостью»
E-mail: eiun@pguas.ru

Толстых Юлия Олеговна,
кандидат экономических наук, доцент кафедры
«Экспертиза и управление недвижимостью»
E-mail: ulaol@mail.ru

Арефьева Марина Сергеевна,
магистрант кафедры «Экспертиза и
управление недвижимостью»
E-mail: arefeva.marina@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

Kuzin Nikolay Jakovlevich,
Candidate of Science, Professor,
Head of «Examination and management
of the real estate»
E-mail: eiun@pguas.ru

Tolstykh Julia Olegovna,
Associate Professor of the department
«Expertise and property management»
E-mail: ulaol@mail.ru

Arefeva Marina Sergeevna,
undergraduate of the department «Expertise
and Property Management»
E-mail: arefeva.marina@yandex.ru

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕМ – РОССИЙСКИЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Н.Я. Кузин, Ю.О. Толстых, М.С. Арефьева

Рассматриваются задачи нормирования тепловой защиты и повышения энергетической эффективности зданий в Германии и в России, возможные направления их решения. Приведен результат расчёта стоимости и расхода тепловой энергии на отопление здания при различном сопротивлении теплопередаче ограждающих конструкций.

Ключевые слова: строительные конструкции, грамотная эксплуатация, диагностика.

ENERGY SAVING CONTROL – RUSSIAN AND FOREIGN EXPERIENCE

N.J. Kuzin, U.O. Tolstykh, M.S. Arefeva

The issues of standardization of buildings thermal protection and energy efficiency in Germany and Russia, and possible directions of their development are discussed in the article. The calculation results of cost and amount of thermal energy for heating buildings with different resistance to heat transfer enclosures are given.

Keywords: building construction, sound operation, diagnostics.

Введение

Энергоресурсосбережение – это одна из самых важных задач современности. Результаты решения этой проблемы непосредственно влияют на оценку степени развития страны и на уровень жизни её граждан. Согласно энергетической стратегии России до 2030 года, степень выработанности освоенных месторождений нефти приблизилась к 60 %, запасы газа месторождений Западной Сибири, являющейся основным газодобывающим регионом страны, выработаны на 65–75 %. Страны, не располагающие определенными ресурсами, уже сейчас вынуждены заниматься проблемами энергосбережения.

Энергосберегающая политика Германии

В Германии в 1976 году был утвержден Федеральный закон об экономии энергии. К 1993 году страна уже имела успешный опыт по снижению энергопотребления в зданиях на 25 %. Дальнейшая политика Германии была направлена на постепенное снижение энергопотребления с тем, чтобы к 2001 году снизить его не менее чем на 40 % по сравнению с 1993 годом [1]. В свою очередь, Правительством Российской Федерации 13 ноября 2009 г. была утверждена «Энергетическая стратегия России на

период до 2030 года». В качестве контрольной цифры повышения энергетической эффективности указано, что к 2020 году энергоёмкость ВВП России по сравнению с 2007 годом должна быть снижена также не менее чем на 40 % .

На сегодняшний момент в Германии действует закон, который называется EnEv (Energieeinsparverordnung), или Постановление об экономии энергии. Этот документ был принят в 2002 г. В 2007 и 2009 гг. в закон были внесены некоторые изменения, которые последовательно ужесточали требования к энергосбережению.

EnEv рассматривает здание как единую энергосистему, то есть учитывает и потребление первичной энергии (с соответствующим коэффициентом), и теплозащиту здания, которая жестко нормирована. При расчётах по теплозащите, в соответствии с Постановлением об экономии энергии, требуется делать расчёты не только первичного расхода энергии на отопление, но и возможных потерь тепла через наружную стену. В общем балансе здания можно при расчётах учитывать в некоторой степени оба фактора сразу – фактор технологического оборудования и фактор теплозащиты, закладываемой при строительстве, то есть плохая теплоизоляция должна компенсироваться за счёт эффективной отопительной системы и наоборот.

В табл. 1 приведены значения расхода тепловой энергии на отопление здания по различным немецким строительным стандартам.

Т а б л и ц а 1

Результирующие значения тепловой энергии, требующейся на отопление здания в расчете на один метр обогреваемой жилой площади для различных строительных стандартов

№ п/п	Стандарт	Q_h , кВт·ч/(м ² ·год)
1	Здание старой постройки	240-280
2	WSVO 95	<100
3	EnEV 2009	30-70
4	Passivhaus	<15

Начиная с 2012 года энергетические требования повышаются ещё почти на 30 % [2]. В России по современным нормам в климатических районах, для которых характерно значение показателя градусо-сутки отопительного периода 2000 °С·сут, Q_h варьируется от 30 до 75 кВт·ч/(м²·год), и в ближайшее время его изменение не планируется.

Нормирование теплозащиты в России

Создание нового поколения норм теплозащиты, стандартов и методов энергетических и теплотехнических расчетов зданий с эффективным использованием энергии явилось ключевым в энергосбережении строительного комплекса. В течение последних 15 лет был разработан ряд ключевых нормативных документов в области энергосбережения. Он включает в себя основные нормативные документы — СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий» и СП 23-101–2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». Эти два документа содержат методы проектирования, расчета теплотехнических характеристик ограждающих конструкций, рекомендации и справочные материалы, позволяющие реализовывать требования, изложенные в первом документе. Основные документы дополняются 53 территориальными нормативными документами (ТСН) под общим названием «Энергосбережение в зданиях» и 6 государственными стандартами. При создании этой системы нормативных документов была сформулирована основная задача: реализация потенциала энергосбережения в строительном комплексе за счет улучшения энергетической эффективности новых, реконструируемых и эксплуатируемых зданий и систем их энергообеспечения.

Строительство энергоэффективных домов находится в России в начальной стадии развития. Показатель градусо-сутки отопительного периода в России в среднем составляет 5000 °С·сут, а в странах Западной Европы – 2000 °С·сут. Энергопотребление в зданиях старой постройки достигает 600 кВт·ч/м²·год. В то же время большинство домов, сданных в эксплуатацию после ввода СНиП 23-02–2003, потреб-

ляют около 350 кВт·ч/м²·год. Стоимость строительства 1 м² жилья в энергетически эффективном доме на 8-12 % выше, чем в обычном, а дополнительные затраты на него окупаются в течение 7-10 лет. Поэтому более широкое распространение получило энергоэффективное строительство коммерческой недвижимости.

В России сделана попытка корректировки законодательства по энергопотреблению. В проекте СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» нормируется показатель энергетической эффективности жилого или общественного здания [3]. На стадии разработки проектной документации этим показателем является удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания. Численно она равна расходу тепловой энергии на 1 м³ отапливаемого объема здания в единицу времени при перепаде температуры в один °С, Вт/(м³·°С). В табл. 2 приведены изменения, внесённые в проект нового документа (примем “-“ – уменьшение показателя, то есть повышение требований к тепловой защите зданий, что должно положительно сказаться на энергоэффективности объекта недвижимости; “+” – увеличение показателя, то есть ослабление требований к теплозащите).

Т а б л и ц а 2

Изменение в процентном отношении нормируемого удельного расхода тепловой энергии на отопление многоквартирных жилых домов в проекте СП 50.13330.2012 по отношению к СНиП 23-02–2003

Площадь домов, м ²	С числом этажей			
	1	2	3	4
50	-2,2	—	—	—
100	-2,27	-2,28	—	—
150	-2,15	-2,36	-2,18	
250	-2,13	-2,25	-2,15	-2,06
400	—	-2,36	-2,24	-2,13
600	—	6,21	-0,28	-2,36
1000 и более	—	13,51	5,99	-0,59

Из табл. 2 становится ясно, что разработчики проекта свода правил «Тепловая защита зданий» не ставят перед собой цель ужесточения требований к энергоэффективности зданий. Средний процент изменения этого же показателя по многоэтажным зданиям составляет 0,11 %. Проводя актуализацию СНиП 23-02–2003, разработчики нового документа изначально ставили перед собой несколько задач, главные из которых заключаются в следующем:

- сохранить основные понятия и, по возможности, требования редакции СНиП 23-02–2003;
- задействовать неиспользованные резервы для повышения энергоэффективности проектируемых зданий;
- сделать СНиП более гармоничным с зарубежными нормами;
- дополнить СНиП необходимыми методиками расчета нормируемых показателей;
- устранить недостатки, выявленные в СНиП 23-02–2003 и т. д.

В какой-то степени они решили поставленную задачу перед собой, но не ответили на главный вопрос – по какому пути идти, чтобы повысить энергоресурсосбережение.

Это путь более интенсивного использования существующих технологий, таких, как теплоизоляция, строительные материалы с высокой отражающей способностью и многослойное остекление, пассивное использование солнечной энергии, высокоэффективное искусственное освещение и энергосберегающая бытовая техника, вентиляционные и охлаждающие системы с высоким уровнем эффективности, солнечные водонагреватели. Правительственные стратегии по разработке энергетических принципов проектирования здания и по разработке энергоэффективных стандартов на приборы бытового использования должны стать источником стимулов и информации для коммерческой деятельности в этой области .

Для подтверждения сказанного приводим в табл. 3 технические характеристики различных видов утеплителей, представленных на современном рынке теплоизоляционных материалов.

Т а б л и ц а 3

Сравнительные характеристики теплоизоляционных материалов

№ п/п	Наименование параметров	Шлаковата	Стекловата	Минеральная вата	Тонкое БТВ	БСТВ
1	2	3	4	5	6	7
1	Средний диаметр волокна, мкм	от 4 до 12	от 4 до 12	от 4 до 12	от 5 до 15	от 1 до 3
2	Сорбционное увлажнение за 24 ч (не более), %	1,9	1,7	0,095	0,035	0,02
3	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,46-0,48	0,038-0,046	0,077-0,12	0,038-0,046	0,035-0,046
4	Наличие связующего, %	от 2,5 до 10	от 2,5 до 10	от 2,5 до 10	от 2,5 до 10	-
5	Класс горючести (НГ – негорючие/ Г – горючие)	НГ	НГ	НГ	НГ	НГ
6	Выделение вредных веществ	да	да	да	да, если есть связующее	нет
7	Теплоемкость, Дж/кг·К	1000	1050	1050	500-800	800-1000
8	Вибростойкость	нет	нет	нет	нет	да
9	Сжимаемость, %	нет данных	нет данных	40	40	15
10	Упругость, %	нет данных	нет данных	75	75	95
11	Длина волокон, мм	16	15-50	16	20-50	50-70
12	Коэффициент звукопоглощения	от 0,75 до 0,82	от 0,8 до 0,92	от 0,75 до 0,95	от 0,8 до 0,95	от 0,95 до 0,99
13	Химическая устойчивость (потеря веса), % в щелочной среде	7	6	6,4	2,75	2,75

Насколько эффективен один из новых утеплителей, рассмотрим на примере наружной стены (рис.1), выполненной из облегченных керамзитобетонных блоков. Утепление стен принято из плит каменной ваты ROCKWOOL ВЕНТИ БАТТС. Наружная и внутренняя поверхности стены оштукатурены.

Для анализа проблемы были выполнены расчеты стоимости 1 м² такой стены при различной толщине утеплителя с использованием территориальных единичных расценок Пензенской области. Результаты расчёта представлены на рис. 2.

В свою очередь, на рис. 3 показан рост фактического сопротивления теплопередаче конструкции стены, который обеспечивается ростом упомянутых капитальных вложений.

В соответствии с методикой расчёта, приведённой в [6], определим удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию условного одноэтажного многоквартирного здания за отопительный период в зависимости от степени утепления наружной стены. Результаты расчётов сведены в табл. 4, где также показана годовая экономия энергетических ресурсов на отопление в руб.

В рассмотренном примере снижение энергопотребления наблюдается только при совершенствовании теплоизоляции стен, а период окупаемости рассчитан из условия неизменности цены за энергоресурсы, то есть он несколько завышен.

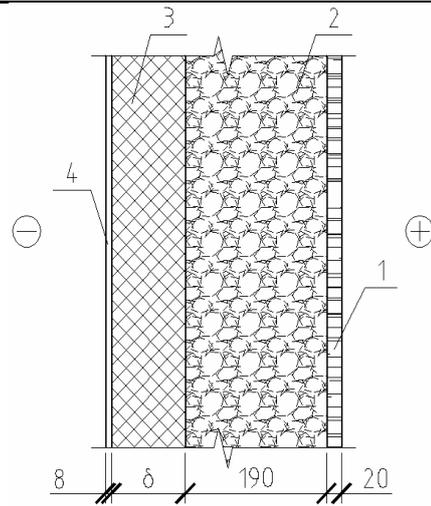


Рис. 1. Разрез наружной стены:

- 1 – цементно-известковая штукатурка, $\delta = 20$ мм, $\alpha = 0,87$ Вт/(м·°С);
- 2 – блок керамзитобетонный стеновой рядовой полнотелый, $\delta = 190$ мм, $\alpha = 0,3$ Вт/(м·°С);
- 3 – плиты из каменной ваты ВЕНТИ БАТТС, $\alpha = 0,040$ Вт/(м·°С);
- 4 – паропроницаемая штукатурка, $\delta = 7-11$ мм, $\alpha = 0,87$ Вт/(м·°С)

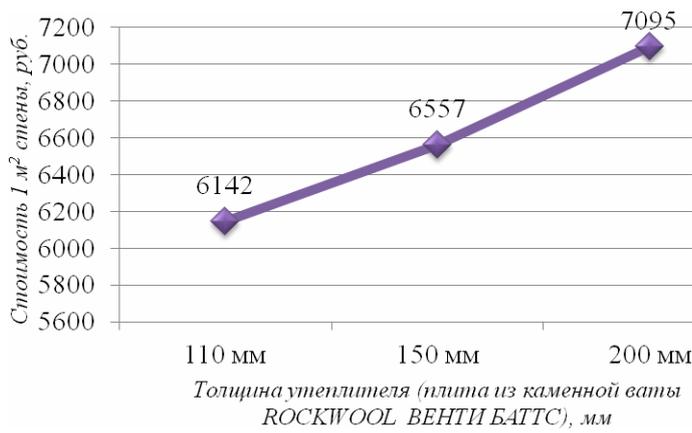


Рис. 2. Стоимость, руб., 1 м² наружной стены при различной толщине утеплителя

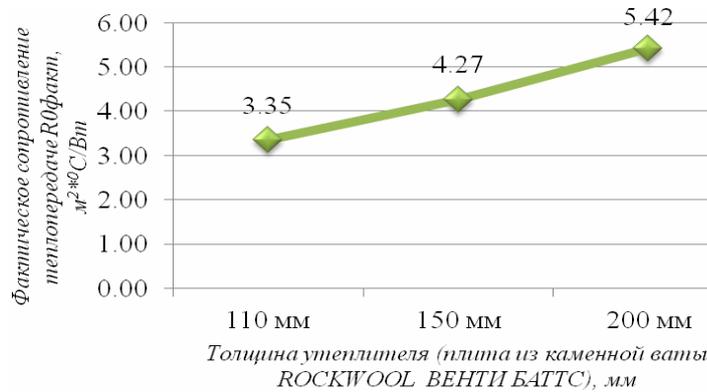


Рис. 3. Фактическое сопротивление теплопередаче стены из керамзитобетона при различной толщине утеплителя $R_{0 \text{ факт}}$, м²·°C/Вт

Расчёт экономической эффективности энергосберегающих мероприятий

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя при толщине утеплителя		
			110 мм	150 мм	200 мм
1	2	3	4	5	6
1	Стоимость 1 м ² стены	руб.	6141,9	6557,26	7095,34
2	Величина дополнительных капитальных вложений на увеличенную толщину утеплителя для здания с отапливаемым объёмом 82,5 м ³ и площадью стен 59,7 м ²	руб.	0	24797	56920,37
3	Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания с отапливаемым объёмом 82,5 м ³	кВт·ч/год	3032,7	2570,7	2209,35
4	Экономия тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания с отапливаемым объёмом 82,5 м ³	кВт·ч/год	0	462	823,35
5	Средневзвешенная стоимость 1 кВт·ч	руб.	4,166		
6	Экономия затрат на оплату тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания с отапливаемым объёмом 82,5 м ³	руб.	0	1924,69	3430,08
7	Недисконтированный период окупаемости энергосберегающих мероприятий	лет	-	13	17

Необходимо продолжить работу над совершенствованием нормативных документов по снижению энергопотребления в жилых и общественных зданиях при использовании всех имеющихся технических возможностей. Следует продолжить исследовательские работы по строительству в России «пассивных домов» с минимальным энергопотреблением. Дома, у которых конструкции соприкасаются с внешней средой, включая фундаменты и перекрытия над подвалом зданий, должны быть утеплены. В перспективе необходим дом, на энергообеспечение которого достаточно энергии от тепловых насосов, ветряков и солнечных батарей.

Проведённое исследование, результаты расчётов позволяют рекомендовать ужесточить требования к тепловой защите зданий, а именно, к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций.

Список литературы

1. Матросов, Ю.А. Сравнительный анализ новых территориальных норм России по энергетической эффективности жилых зданий и нового Постановления Германии / Ю.А. Матросов // Энергосбережение. – 2002. – №3. – 40 с.
2. Касюк, С.Т. Меры по обеспечению энергетической эффективности жилых и общественных зданий в Германии / С.Т. Касюк // Энергосовет. – 2012. – №1(20). – 61 с.
3. Министерство регионального развития Российской Федерации Проект СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.

References

1. Matrosov, A. Comparative analysis of new territorial rules Russia for energy efficiency of residential buildings and the new regulation in Germany / A. Matrosov // Power Saver. – 2002. – № 3. – 40 p.
2. Kasyuk, S.T. Measures for energy efficiency of residential and public buildings in Germany / S.T. Kasyuk // Energy Council. – 2012. – № 1 (20). – 61 p.
3. The Regional Development Ministry of the Russian Federation code of rules project 50.13330.2012 «Thermal Protection of Buildings». Actualize edition SNiP 23-02-2003.

УДК 711.45:711.(470.40)

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

Тюкленкова Елена Петровна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Землеустройство и геодезия»
E-mail: zig@pguas.ru

Пресняков Владимир Викторович,
доцент кафедры «Землеустройство
и геодезия»
E-mail: zig@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

Tyuklenkova Elena Petrovna,
Candidate of Sciences,
Associate Professor of the department «Land
management and geodesy»
E-mail: zig@pguas.ru

Presnyakov Vladimir Viktorovich,
Associate Professor of the department «Land
management and geodesy»
E-mail: zig@pguas.ru

СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЗОНИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЁННОГО ПУНКТА НА ПРИМЕРЕ РАБОЧЕГО ПОСЁЛКА ЗОЛОТАРЁВКА ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.П. Тюкленкова, В.В. Пресняков

Рассмотрены основные положения функционального зонирования сельских поселений с позиций землеустроительного проектирования в границах территории рабочего посёлка Золотарёвка. Указаны функциональные зоны с установлением их границ, что связано с разграничением земель, постановкой их на кадастровый учет, а также с необходимостью территориального планирования землепользований.

Ключевые слова: сельский населённый пункт, рабочий посёлок, схема, функциональное зонирование, территория, генеральный план, планировка.

MAPPING THE SCHEME OF FUNCTIONAL ZONING OF VILLAGES ON THE EXAMPLE OF ZOLOTAREVKA IN PENZA REGION

E.P. Tyuklenkova, V.V. Presnyakov

The basic principles of functional zoning of rural communities from the point of land use planning within the boundaries of Zolotarevka are discussed. Functional areas with their boundaries are indicated with the division of land, putting them on the cadastre, as well as spatial planning of land use.

Keywords: rural settlement, working settlement, scheme, functional zoning, territory, master plan, planning.

При выборе территории для строительства, а также при реконструкции населенного пункта важно учитывать взаимное размещение его частей (зонирование территории), отличающихся друг от друга своим функциональным использованием. После анализа ландшафтно-климатических особенностей заданной территории выполняется схема функционального зонирования всего посёлка, структурное зонирование системы улиц, площадей и размещение объектов культурно-бытового назначения с отводом соответствующих им земельных участков в плане.

Целью функционального зонирования является такое разделение территории населенного пункта на составные части, с обеспечением связи между ними, при которой населенный пункт представляет собой единый комплекс зданий, сооружений и других элементов, связывающих наиболее благоприятные условия для быта, труда и отдыха жителей.

Основными функциональными зонами сельских населенных мест являются жилая или селитебная и производственные зоны. Могут быть образованы санитарно-защитные зоны, коммунально-складская и зона внешнего транспорта.

Перед размещением зон изучается вся территория, изображенная на плане, определяются наиболее ярко выраженные ландшафтные и эстетические особенности территории.

Основу архитектурно-планировочного решения сельских поселений создает взаимное размещение селитебной и производственной зон с учетом норм санитарных разрывов, компактности, рациональной организации территорий, удобных тротуарных и пешеходных связей, возможности перспективного расширения зон.

Селитебную зону следует размещать выше по рельефу и с наветренной стороны по отношению к производственной зоне. Жилую застройку размещают вблизи водоема, массива зеленых насаждений. Если поселок расположен возле реки, то селитебная зона должна находиться выше по течению, чем производственная. С учетом существующих ландшафтов и незначительного преобразования окружающей среды рекомендуется разделение селитебной зоны на подзоны интенсивного и экстенсивного освоения.

Для достаточной изоляции жилых территорий необходимо соблюдать минимальные санитарные разрывы. Ближе к селитебной зоне следует располагать те из сельскохозяйственных производственных комплексов, которые характеризуются меньшими производственными вредностями. Крупные животноводческие и пищеводческие комплексы по санитарным условиям размещают автономно на расстоянии 1–1,5 км от жилой зоны [5].

Важным является правильное размещение функциональных зон и транзитной дороги областного и районного значения, которая связывает населенный пункт с важными экономическими объектами внешней сети: областным, районным центром, пунктами переработки и сбыта сельскохозяйственной продукции.

В настоящее время на землях сельских поселений мероприятия по развитию функционально-планировочной организации территории не получили должного развития. В границах территорий бывших крупных сельскохозяйственных предприятий не осуществлялись крупномасштабные работы по разграничению земель, не проводилась инвентаризация, не были выполнены землеустроительные работы по передаче в собственность или пользование несельскохозяйственных угодий и участков под зданиями и сооружениями, не созданы организационно-территориальные условия для оборота земель.

Планирование и реконструкция существующих сельских населенных мест выполняются в соответствии с проектом планировки или генеральным планом. Генеральный план устанавливает функциональное зонирование, общие характеристики использования территорий, характер застройки и инфраструктуру на долгосрочную перспективу [2]. На местном уровне происходит непосредственное общение публичной власти с частными лицами по определению территориальных зон, в пределах которых будет происходить жизнедеятельность поселения – жилые, производственные, рекреационные и прочие. Определяются эти зоны сначала функциональным зонированием, а затем посредством градостроительного зонирования уже в другом правовом документе – Правилах землепользования и застройки.

Масштабы прогнозируемой активности частных лиц, то есть объемы предполагаемого строительства и реконструкции также определяются функциональным зонированием.

Для комплексного градостроительного анализа и разработки планировочного развития выполняют дифференциацию территории поселка. Так, на примере функционального зонирования земель рабочего поселка Золотаревка Пензенской области [7] его территория разделена на зоны различного назначения, в пределах которых целесообразно размещать те или иные объекты хозяйственных отраслей, резервировать площади для разных видов освоения, устанавливать режим использования территорий (см. рисунок). Функциональное зонирование территории поселка формируется на основе сложившейся планировочной структуры. Функциональные зоны выделяются по преимущественному виду использования и подразделяются на жилые зоны; общественно-деловые зоны; производственные зоны; зоны инженерной и транспортной инфраструктур; рекреационные зоны; зоны особо охраняемых территорий; зоны объектов культурного наследия; зоны сельскохозяйственного использования; зоны с особыми условиями использования территорий.

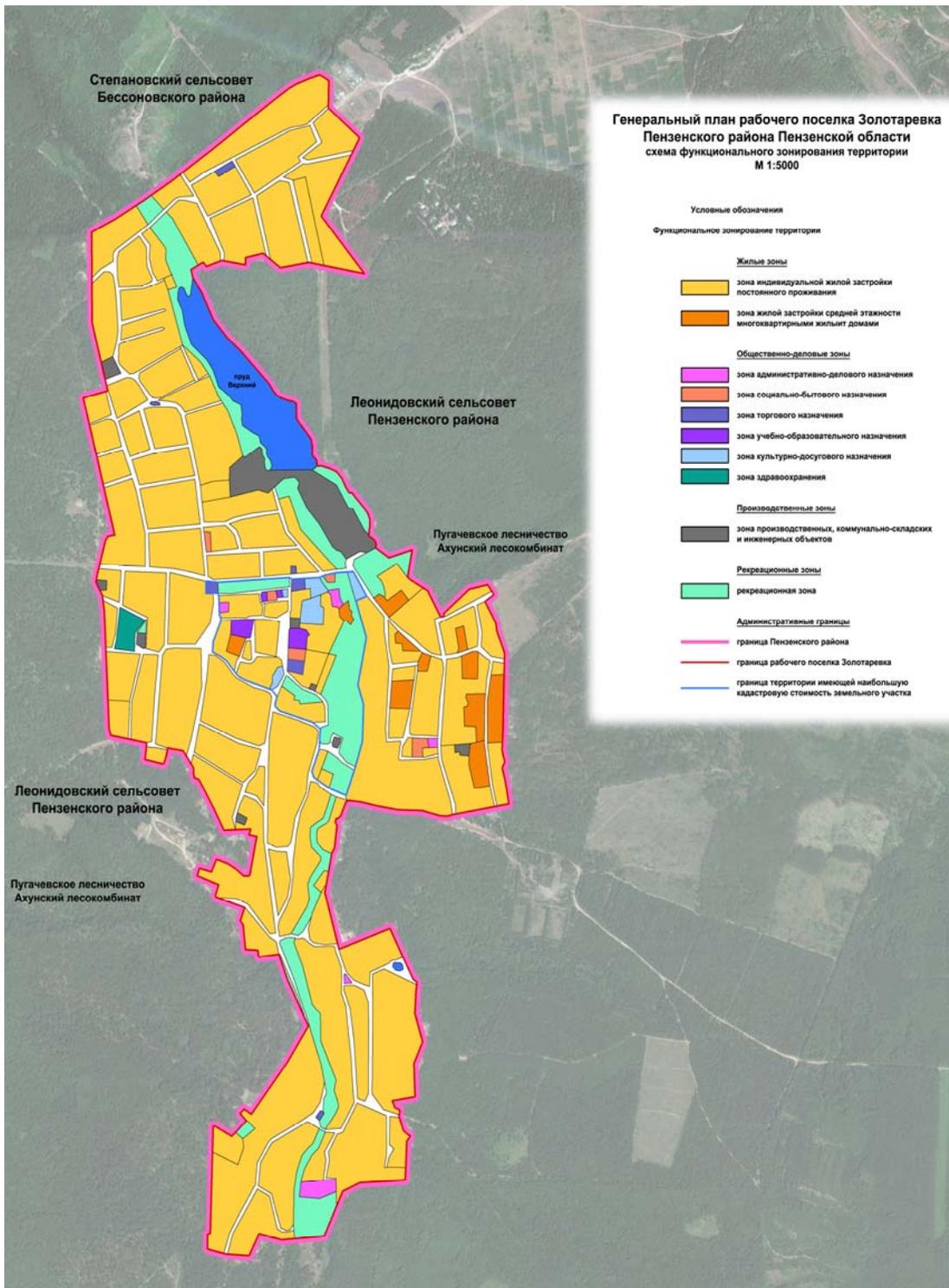


Схема функционального зонирования территории р.п. Золотаревка

В проектом плане даются предложения по развитию пространственно-планировочной организации территории поселения, оздоровлению окружающей среды, изменению функционального использования части территории, что в комплексе обеспечивает повышение стандарта проживания и качество поселковой среды.

При планировании сельских населенных мест необходимо опираться на анализ демографической ситуации. Целью демографического прогноза является оценка численности населения на перспективу, без этого не могут быть определены перспективы производства, развитие социальной инфраструктуры, занятости населения и создания условий на территории сельских поселений инвестиционной привлекательности.

Установлено, что выбор правильного планировочного варианта в отношении земель конкретного населённого пункта невозможен без знаний специфики их организации, устройства и функционирования. Основным инструментом регулирования земельного фонда существующих градостроительных систем, включая сельские поселения, является землеустройство, формирующее земельные отношения и управление земельными ресурсами в необходимом экономическом направлении.

При проведении землеустроительного и градостроительного проектирования рекомендуется уделить большее внимание проблемам отсутствия границ зон, что не обеспечивает точности их положения на местности, приводит к земельным спорам и судебным делам в сфере оборота земель и невозможности постановки многих земельных участков на кадастровый учет из-за неточного определения площадей и границ [6].

С функциональным зонированием территорий тесно связана кадастровая оценка земель населенных пунктов. На схеме функционального зонирования выделена территория (синим цветом), имеющая наиболее высокую кадастровую стоимость участков земли. Формирование кадастровой стоимости земли оценочной зоны осуществляется с учетом классификации земель по землепользователям населенного пункта, правовому режиму, по функциональному использованию и градостроительной ценности. Зонирование сельского населенного пункта или дифференциация его территории является важнейшим регулятором формирования кадастровой стоимости участков земли и расположенных на них объектов недвижимости.

Список литературы

1. Земельный кодекс РФ. – М.: Проспект, 2008. – 23 с.
2. Градостроительный кодекс РФ. – М.: Проспект, 2008. – 239 с.
3. Варламов, А.А. Земельный кадастр. Т. 6. Географические и земельные информационные системы / А.А. Варламов, С.А. Гальченко. – М.: КолосС, 2005 – 400 с.
4. Шалов, Т.Б. Земля и земельные отношения: словарь-справочник / Т.Б. Шалов [и др.]. – Нальчик, 2006. – 56 с.
5. Иванов, Н.Н. Планирование и организация рационального использования земель и их охрана в субъектах Российской Федерации / Н.Н. Иванов. – М.: ГУЗ, 2008.
6. Кадастр 2014. Видение будущего кадастровых систем: пер. с англ. Ю. Кауфман, Д. Стюдлер. – Режим доступа: <http://www.fig.net/cadastr2014/translation/c2014-russian.pdf>.
7. Официальный сайт р.п. Золотарёвка. – Режим доступа: http://rpzolutarevka.pnz.pnzreg.ru/KMCY/Generalnyy_plan.

References

1. Land Code of the Russian Federation. – M.: Prospect, 2008. – 23 p.
2. Town Planning Code. – M.: Prospect, 2008. – 239 p.
3. Varlamov, A.A. Land Registry that six geographic and land information systems / A.A. Varlamov, S.A. Galchenko. – M.: Colossus, 2005. – 400 p.
4. Shalov, T.B. and other Land and land tenure: the dictionary-a guide / T.B. Shalov. – Nalchik, 2006. – 56 p.
5. Ivanov, N.N. Planning and organization of land use management and protection in the Russian Federation / N.N. Ivanov. – M.: GOOSE, 2008.
6. Cadastre 2014. Vision of the future cadastral systems: Per. from English. Kaufman, D. Stuedler. – Mode of access: <http://www.fig.net/cadastr2014/translation/c2014-russian.pdf>.
7. Official site of Zolotaryovka. – Mode of access: http://rpzolutarevka.pnz.pnzreg.ru/KMCY/Generalnyy_plan

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

Петрянина Любовь Николаевна,
доцент кафедры «Городское строительство
и хозяйство»

Карпова Ольга Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Стандартизация, сертификация
и аудит качества»

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

Petryanina Lyubov Nikolaevna,
Assistant Professor of the department «Urban
Construction and Architecture»

Karpova Olga Victorovna,
Candidate of Sciences, Assistant Professor of
the department «Standardization, certification
and quality audit»

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ПРОЕКТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Л.Н. Петрянина, О.В. Карпова

Рассматриваются цели, задачи создания и принципы функционирования системы менеджмента качества, документы различных уровней, роль службы качества при внедрении системы качества на примере института ООО «Гражданпроект» г. Пензы.

Ключевые слова: система менеджмента качества, проектная организация, стандарт организации, проектно-сметная документация.

A QUALITY MANAGEMENT SYSTEM IN THE DESIGN ORGANIZATION

L.N. Petryanina, O.V. Karpova

The aims, tasks of formation and functioning principles of the quality management system, documents of different levels, the role of quality service in the implementation of the quality system are considered on the example of the Institute LLC «Grazhdanproekt» Penza.

Keywords: : quality management, project organization, standard of the organization, design and estimate documentation.

В рыночных условиях хозяйствования все большее значение приобретают вопросы повышения конкурентоспособности предприятий и организаций, а значит повышения качества выпускаемой ими продукции и оказываемых услуг. Основные способы достижения этой цели нашли свое отражение в Международных стандартах ИСО серии 9000 на системы менеджмента качества (СМК). В отличие от существовавших ранее систем, обеспечивающих качество, данная система предусматривает целый комплекс мероприятий, затрагивающих работу всех структурных подразделений предприятия (организации), направленных на безусловное выполнение требований к качеству предоставляемых услуг и выпускаемой продукции.

Толчком к созданию в институте ООО «Гражданпроект» г. Пензы системы менеджмента качества (СМК) послужил его выход на общероссийский рынок проектных работ, так как после реорганизации данное предприятие стало составляющим холдинга СКМ-групп и в настоящее время является организацией с полным циклом проектно-сметных работ строительной отрасли.

В связи с кризисными явлениями 90-х годов прошлого века, когда объем заказов резко упал, новым руководством были приняты меры для выработки путей выживания и сохранения института – это разработка конкурентоспособной документации и поиск новых заказчиков.

Первые шаги на рынке разработки проектно-сметной продукции начинались с вопроса о наличии документа, подтверждающего соответствие системы качества института требованиям международных стандартов и способности гарантированно вы-

пускать высококачественную документацию. Чтобы обеспечить портфель заказов, была поставлена задача: доработать действующую на тот момент на предприятии комплексную систему управления качеством и создать систему по модели стандарта ИСО 9001. Исходя из этого, в институте был проведен большой комплекс работ по созданию и внедрению СМК, отвечающей требованиям данного стандарта. Потребовалось пересмотреть всю систему документации, определить цели и задачи в области качества для всех направлений деятельности, всех подразделений и предприятия в целом, разработать основные и поддерживающие процессы, включая концепцию постоянного улучшения СМК и ее увязки с бизнес-процессами.

Для координации и контроля работ по обеспечению разработки, внедрения и поддержания в рабочем состоянии процессов СМК, представления отчетов руководству института о функционировании системы и необходимости ее улучшения приказом генерального директора ООО «Гражданпроект» назначен представитель руководства по СМК из состава высших руководителей предприятия.

Система менеджмента качества была создана и внедряется в организации как средство, обеспечивающее реализацию политики в области качества. Основной целью внедрения в проектной организации СМК является достижение и поддержание уровня качества работ, соответствующего требованиям заказчиков и положениям нормативных документов и улучшающего экономическое положение организации.

Задачами СМК, направленными на достижение цели, являются:

- обеспечение требуемого уровня и контроль качества при подготовке и внедрении СМК;
- определение потребности и формирование обязательств по предоставлению работ с учетом требований заказчиков и эксплуатирующих организаций, а также оптимальных затрат на качество;
- предупреждение появления любых несоответствий выполняемых работ заданным требованиям в процессе всего цикла их осуществления;
- увеличение прибыли, расширение рынка предоставления услуг;
- рациональное использование трудовых и финансовых ресурсов.

Принципами функционирования СМК в институте ООО «Гражданпроект» г. Пензы являются следующие:

- согласование и взаимоувязка организационной структуры СМК и организационной структуры организации, единство управления производственной деятельностью;
- четкое распределение ответственности и полномочий по каждому виду деятельности, влияющей на обеспечение качества работ;
- ответственность руководства организации за определение политики в области качества, организацию и общее руководство работами по обеспечению качества работ;
- комплексный учет всех факторов и условий, влияющих на качество работ, и системный подход к организации процессов управления по всем уровням от руководства организации до отдельных исполнителей работ на всех стадиях планирования, подготовки, проведения и оценки работ;
- приоритетность работ по обеспечению качества и определение затрат на их проведение с учетом экономической целесообразности;
- документальное оформление процедур обеспечения и управления качеством проводимых работ;
- обеспечение понимания всех требований СМК и эффективности ее функционирования на предприятии.

Документально оформленная система менеджмента качества организации имеет три уровня:

Первый уровень – «Руководство по качеству», которое содержит общие принципы и философию обеспечения качества в проектной организации. Оно состоит из описаний проектной организации, ресурсов и персонала для проверок, области применения, общих положений. Руководство по качеству содержит также определение реализации требований системы менеджмента качества в части организации качества и общего руководства работами по обеспечению качества, которые включают:

- формирование политики организации в области качества, планирование по обеспечению качества работ, взаимодействие с заказчиком и соисполнителями, контроль и анализ договоров, информационное обеспечение работ по качеству, рекомендации по управлению несоответствиями, подготовкой и реализацией корректирующих и предупреждающих мероприятий;
- учет и анализ затрат по обеспечению качества;
- документацию системы менеджмента качества, управление документацией, анализ эффективности установленных процедур; задачи подготовки персонала;
- внутренние проверки СМК и аудиторские проверки СМК предприятий-соисполнителей;
- мероприятия морального и материального стимулирования работ по обеспечению и повышению качества;
- мероприятия по реализации требований СМК в части обеспечения качества проектной и конструкторской документации;
- анализ технических возможностей и путей реализации требований заказчика по проведению работ;
- технико-экономический анализ возможных вариантов выполнения работ, проведение сметных расчетов;
- формирование требований к материальным ресурсам, необходимым для производства работ;
- мероприятия по реализации требований СМК в процессе производства работ; технологическое и метрологическое обеспечение качества;
- обеспечение качества в процессе материально-технического снабжения; контроль качества материальных ресурсов;
- нормативное обеспечение реализации требований системы менеджмента качества.

Второй уровень – «Свод стандартов организации», состоящий из стандартов организации, детально описывающих всю деятельность, влияющую на качество работ. Стандарты четко определяют цель деятельности; персонал, занятый ее выполнением; ответственность и задачи; время деятельности, проверяемые параметры и способы регистрации данных.

Перечень разработанных нормативных документов СМК ООО «Гражданпроект» содержит следующие стандарты: СТО СМК «Руководство по качеству», СТО СМК «Порядок разработки стандартов», СТО СМК «Управление документацией», СТО СМК «Управление записями», СТО СМК «Внутренние аудиты», СТО СМК «Контроль качества проводимых работ. Управление несоответствующей продукцией», СТО СМК «Анализ со стороны руководства, корректирующие и предупреждающие действия», СТО СМК «Обеспечение качества проектной, конструкторской и технологической документации и нормоконтроль документации», СТО СМК «Порядок заключения контракта с субподрядчиком», СТО СМК «Анализ контрактов», СТО СМК «Обслуживание и регламентные работы», СТО СМК «Подготовка кадров. Основные положения», СТО СМК «Система бездефектного труда. Моральное и материальное стимулирование за высококачественный труд», СТО СМК «Порядок хранения и изменения документации», СТО СМК «Положение о Совете по качеству».

Третий уровень – рабочая документация, положения, состоящие из инструкций, форм, правил, положений, планов, содержащих подробную информацию, документацию, касающуюся деятельности, влияющей на качество.

Документы этого уровня находятся в подразделениях. Распространение, хранение и обновление документации системы менеджмента качества постоянно управляется и контролируется работниками службы качества.

Таким образом, комплекс документации СМК организации включает следующие группы документов:

- политику в области качества;
- основополагающий стандарт по СМК СТО «Руководство по качеству»;
- стандарты организации и другие нормативные документы, регламентирующие порядок и методы выполнения работ по обеспечению и повышению качества на всех стадиях работ;
- программные и плановые документы по качеству;
- положения и инструкции, определяющие требования к работе исполнителей;

– учетную документацию о качестве проводимых работ и процессах их подготовки, планирования, контроля и анализа.

Одной из важнейших процедур в проектной организации является процедура «Управление документацией». Рассмотрим ее более подробно.

Для управления документацией действуют следующие виды документов по планированию и осуществлению деятельности, выполняемой организацией:

– документы высшего уровня системы менеджмента качества: «Руководство по качеству» и «Свод стандартов организации». Эти документы описывают систему обеспечения качества проектной организации и контролируются начальником службы качества. Изменения и дополнения утверждаются руководителем организации. Контроль за ведением документации осуществляется посредством проведения внутренних проверок;

– инструкции должностные и рабочие по направлениям деятельности, положения, процедуры проверок, методики, планы. Этот вид документов служит дополнением к документам высшего уровня системы менеджмента качества. Инструкции разрабатываются, контролируются и хранятся в подразделениях организации. Руководители подразделений ответственны за пересмотр инструкций и их обновление. Правильность оформления документов проверяется во время внутренних проверок;

– предконтрактная документация проекта. Исходная документация на объект, поступающая от заказчика в виде основных технических и экономических решений, условий и требований и достаточная для принятия решения об участии организации в тендерах. Эту документацию используют для подготовки заявки на подряд. Заместитель руководителя по производству назначает ответственного за объект, который ведет обработку данной документации. Переговоры с потенциальными субподрядчиками и заказчиком до принятия окончательного решения ведет руководитель организации или его заместитель по производству в соответствии со стандартом организации. К этой работе привлекают работников технического и планово-производственного отделов;

– проектно-сметная документация объекта. Этот вид документов разрабатывается непосредственно в организации или субподрядными организациями. Регистрацию, утверждение и выдачу заказчику осуществляет ответственный за объект с привлечением работников технического отдела. Он же отвечает за внесение изменений и своевременное обновление документации. Держатели документации отвечают за ее правильное оформление;

– нормативная документация: технические регламенты, национальные стандарты, технические условия, строительные нормы и правила, своды правил, документы органов государственного надзора. Учет всех имеющихся документов этой категории на предприятии ведется службой качества. Приказом назначается работник, отвечающий за хранение этих документов и внесение в них всех дополнений и изменений.

Функционирующая система обеспечивает выполнение следующих процедур по поддержанию в рабочем состоянии документации СМК:

– разработку, оформление и утверждение документации и извещений об изменении документации;

– учет и хранение документации и извещений об изменении документации;

– обеспечение необходимой документацией исполнителей и рабочих мест, а также своевременное изъятие отмененной и устаревшей документации;

– контроль за соблюдением требований документации СМК;

– своевременное внесение изменений во все рабочие экземпляры документации;

– поддержание современного научно-технического уровня документации.

Реализацию перечисленных работ по ведению документации СМК и технической документации обеспечивает служба качества.

Документированные процедуры, описанные в стандартах организации, и производственные инструкции определяют перечень, содержание, порядок оформления, маршруты прохождения, порядок регистрации и хранения документов, удостоверяющих качество работ в соответствии с требованиями действующих нормативных документов и контрактов (договоров) с заказчиками.

Вся информация о выполненных работах и услугах передается в службу качества, где ведется накопительный учет.

Ответственный за объект сообщает следующую информацию о выполненных работах:

- а) номер заказа (договора), по которому произведена оплата продукции;
- б) примененные документы технических требований, технические условия, чертежи, требования к технологическому процессу, инструкции по контролю и другие соответствующие технические данные;
- в) документы, подтверждающие приемку продукции;
- д) сроки выполнения работ;
- г) персональный состав коллектива, выполнившего работу.

Служба качества ведет учет рекламационных документов на работы и услуги, выполненные предприятием. К таким документам относятся рекламационные акты, сообщения об ошибках, акты удовлетворения рекламаций, акты исследования и другие документы, связанные с установлением характера и причин ошибок.

Руководство и ответственность за работы по разработке, внедрению, обеспечению функционирования и совершенствованию СМК, оценке и контролю ее эффективности и соответствия установленным требованиям, координацию и методическое руководство работами по качеству осуществляет начальник службы качества организации. Заместитель генерального директора по производству приказом Генерального директора назначен ответственным представителем руководства (ОПР) по качеству и лицензионной работе и обеспечивает развитие СМК ресурсами.

Для решения проблемных вопросов обеспечения и управления качеством при руководстве организации действует коллегиальный орган – Совет по качеству, который выполняет функции, закрепленные за ним в положении о Совете по качеству.

Для обеспечения конкурентоспособности проектной организации на рынке разработки проектной документации руководство института исходит из того, что:

- заказчик всегда стремится получить такую продукцию и услуги, которые будут удовлетворять его потребностям и ожиданиям и иметь при этом соответствующую цену;
- превосходное качество достигается, в том числе, путем предупреждения возникновения проблем, а не путем выявления причин и проведения корректировки появившейся проблемы;
- любая работа, выполняемая сотрудниками, является частью работы по созданию продукции для заказчика. Поэтому каждый, участвующий в этом процессе, влияет на качество;
- сохранение высокого качества работ требует постоянного совершенствования процессов, т.е. какой бы хорошей не была деятельность проектной организации, необходимо непрерывно вести поиск новых решений;
- каждый сотрудник организации является одновременно заказчиком и поставщиком для других сотрудников, поэтому качественно выполняя свои обязательства, он вправе ожидать хорошей работы от коллег.

Таким образом, созданная система охватывает все этапы разработки, выпуска проектно-сметной документации от получения заказа на ее выполнение до осуществления авторского надзора. Она направлена на максимальное удовлетворение требований заказчика, а также на постоянное улучшение деятельности предприятия в области качества. Разработанная система качества была сертифицирована ООО «Управление качеством по международным стандартам» г.Москвы на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001–2008.

Руководство института стремится достичь и увеличить доверие со стороны заказчиков, а также партнеров и субподрядчиков путем разъяснения своей политики в области качества и применяемой системы менеджмента качества.

Внедряя СМК в организации, руководство института ООО «Гражданпроект» г. Пензы стремится к тому, чтобы организация стала не только конкурентоспособной, но и лидером в сфере своей деятельности, имела репутацию надежного партнера среди специалистов высокой квалификации для безупречного выполнения требований заказчиков по всему спектру проектных работ и услуг.

Запорожская государственная инженерная академия

Украина, 69006, г. Запорожье, пр. Ленина, д. 226

Арутюнян Ирина Андреевна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Промышленное и гражданское
строительство»
E-mail: iriara@yandex.ru

Zaporozhye state Engineering academy

Ukraine, 69006, Zaporozhye, 226,
Prospect Lenina

Arutyunyan Irina Andreivna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Industrial and civil building»
E-mail: iriara@yandex.ru

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ НА ОСНОВЕ СИСТЕМАТИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

И.А. Арутюнян

Рассматривается задача управления снабжением и обеспечением строительного производства на основе использования методов сетевого моделирования, позволяющих в единой модели отобразить взаимосвязи строительного комплекса, произвести поиск наиболее эффективного варианта обеспечения строительных площадок.

Ключевые слова: строительный комплекс, сетевая модель, логистика, система, логистическая система.

INNOVATIVE APPROACHES BASED ON BUILDING COMPLEX DEVELOPMENT SYSTEMATIZATION

I.A. Arutyunyan

In the article a management task is examined to supply and provide building production complex based on using methods of network design that allows to represent intercommunications of building complex in a single model, and to find out the most effective variant of supplying construction sites.

Keywords: building complex, network model, logistic, system, logistic system.

Для успешного функционирования на рынке предприятия или организации, входящие в программу развития строительного комплекса, вынуждены под давлением изменений внешних факторов вводить определенные коррективы в стратегии развития своей деятельности [1, 2]. От состояния строительного комплекса зависят перспективы экономического роста и возможности модернизации экономики Украины. Это является весомой причиной для использования нового научного инструментария в виде логистики. Новые экономические отношения, в которых в настоящее время функционирует капитальное строительство, позволили стать ему более восприимчивым к логистике.

Строительство, как система, воспринимается в первую очередь через материально-техническое обеспечение стройки. Для того чтобы построить любые здания и сооружения, необходимы в нужном количестве строительные материалы, конструкции и изделия, сырье и технологическое оборудование и др., которые предусмотрены проектом на строительном-монтажные работы. Процесс организации строительного производства предполагает четкую поставку этих ресурсов в заданном объеме и соответствующего качества в указанные сроки. Опыт работы различных производств в стране и за рубежом показывает, что для решения подобных задач применяется логистика [1, 3].

Концепция логистики представляет собой систему взглядов на повышение эффективности функционирования строительного комплекса на основе оптимизации функциональных и информационных процессов. Данная концепция реализуется на основе системного подхода.

Концепция логистики ориентируется на будущее. Она показывает направление, в котором должна развиваться логистическая система строительной организации и строительного комплекса в целом [4].

Система – совокупность функционально отнесенных элементов, которые состоят в отношениях и связке друг с другом, образуют целостность, единство и определяют ее назначение [4].

Элемент – часть системы, которая условно неделима на составные части.

В литературе отмечаются разновидности системы:

Сложная система – это система с разветвленной структурой и значительным количеством элементов (подсистем), которые являются, в свою очередь, простыми системами.

Большая система – это сложная система, которая имеет некоторые дополнительные признаки, а именно [5]:

- наличие подсистем, которые имеют собственное целевое назначение, подвластное общему целевому назначению всей системы;
- большое количество разнообразных связей (материальные, информационные и др.);
- внешние связи с другими системами;
- наличие в системе элементов самоорганизации.

Следовательно, существуют определенные требования, отвечая которым объект можно называть системой [5,6].

1. Целостность и делимость. Система – целостная совокупность элементов, которые взаимодействуют друг с другом. Элементы существуют лишь в системе, вне системы – это лишь объекты, которые владеют потенциальным свойством образования системы. Объект изучения может быть материальным, мыслимым абстрактным, а может быть совокупностью материальных и абстрактных образований.

2. Связи. Связи между элементами внутри системы должны быть крепче, чем отдельных элементов с внешней средой, потому что в ином случае система не сможет существовать.

3. Наличие некоторой характеристики, цели, качества, которые определяют существование объекта как системы.

4. Организация. Для появления системы необходимо создать упорядоченные связи, то есть определенную структуру, организацию системы.

Логистическую систему можно определить как систему производства, то есть совокупность производительных сил и производственных коммерческих отношений. Характерными особенностями такой системы являются превращение ресурсов в материальные блага, участие человека во всех процессах, непрерывное развитие систем и измеримость расходов и результатов в процессе функционирования логистической системы [5].

Строительный комплекс – это совокупность отраслей материального производства, которые обеспечивают капитальное строительство. В состав строительного комплекса входят такие отрасли материального производства, как строительство, промышленность строительных материалов, производство строительных конструкций и деталей и т.д. [7, 8].

Проблема развития строительного комплекса тесно переплетается с развитием производительных сил, которые получили отражение в организации строительного производства.

Многие территориальные и практические проблемы размещения базы производства исследованы недостаточно. Поэтому для решения проблемы развития производственной базы строительного комплекса необходима гибкая методика моделирования процессов, которые отображают многообразие связей между поставщиками сырья – транспортными условиями – стоимостью.

На сегодня система производственно-технологической комплектации объектов строительства имеет существенные недостатки, такие, как, например, слабая связь с заводами-поставщиками и транспортными организациями. Чтобы укрепить эту связь, обеспечив эффективное взаимодействие в процессе комплектации строительства материалами, изделиями заводов-поставщиков строительных организаций, необходима организационная система – логистическая система. Логистическая деятельность

в строительстве имеет интегрированный характер и осуществляется в рамках проекта комплектно-транспортно-строительного комплекса (КТСК) [9]. Основу интегрированной системы логистики образуют такие важнейшие сферы бизнеса, как закупка сырья и материалов, потоки материалов, информация и тому подобное, что показано на сетевой модели (рис. 1). Успех строительного бизнеса зависит не только от результатов деятельности отдельной строительной организации, но и от ее партнеров-поставщиков.

Условные обозначения

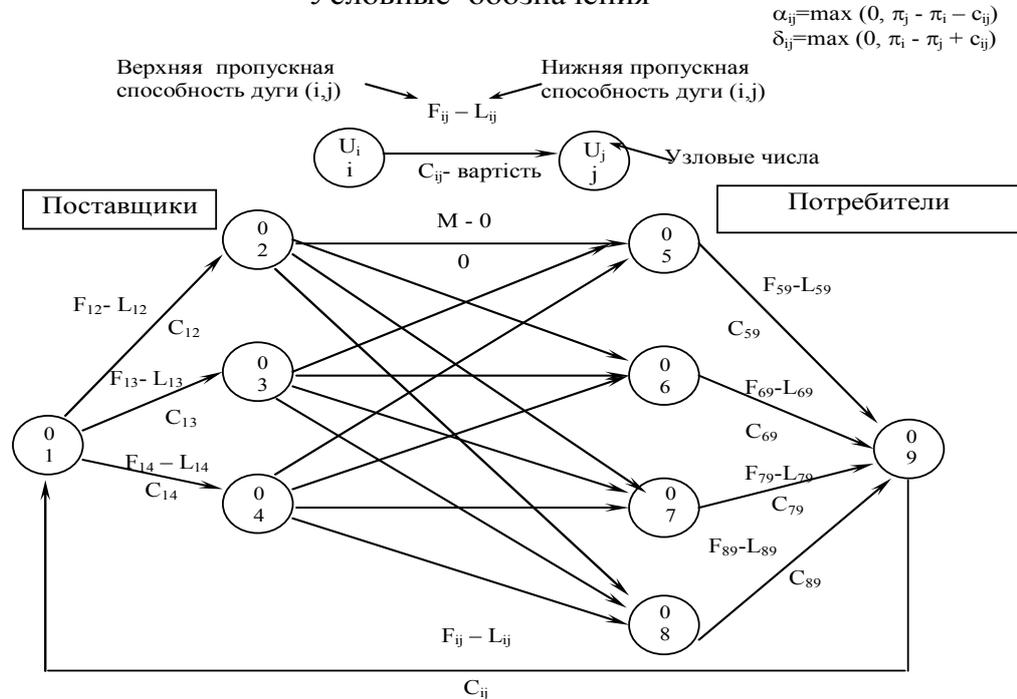


Рис. 1. Сетевая модель расчета задачи КТСК

Одной из особенностей логистики в строительном комплексе есть совместная деятельность участников проекта КТСК при движении материалов и изделий от поставщиков на строительные объекты.

Одной из задач логистизации строительства, а именно: продвижение материального потока (строительный материал, конструкции, детали, полуфабрикаты) от поставщика на приобъектные площадки строительства, является минимизация транспортных расходов или транспортная задача (табл. 1, 2). В нашем случае общая постановка задачи управления движением материальных потоков для выполнения программ развития строительного комплекса рассматривается с помощью алгоритма исключения дефекта (АИД).

Для учета реальных условий производства по составлению структуры сетевой модели [10,11], по определению оптимальной схемы развития производственной базы строительного комплекса и проверки работы программы «ПОТОК» был разработан вариант начальной модели по снабжению объектов железобетонными конструкциями в г. Запорожье.

Т а б л и ц а 1

Исходные данные закрытой транспортной задачи

		5	6	7	8	
		2680	2520	8520	1280	← Спрос
ИСТОЧНИК	2	8840	48	65	43	24
	3	4600	34	55	26	39
	4	1560	180	50	98	105
		↑ Предложение				

$C_{ij} (i=1,2,3; j=1, 2, 3, 4)$

Объекты строительства и поставщики

Объекты строительства	Поставщики
B_1 – ул. Запорожская, 1-в	A_1 – ЗАО «БЛОКИ»
B_2 – ул. Никопольское шоссе, 1к	A_2 – ЗАО «ЗЖБК№1»
B_3 – ул. Скворцова, 25	A_3 – ВАТ «ПАВЛОГРАДЖИТЛБУД» Буд-майстер
B_4 – ул. Патриотическая, 15	

На основе алгоритма исключения дефекта была разработана программа «ПОТОК» (рис. 2), с помощью которой получено решение, представленное в табл. 3–6.

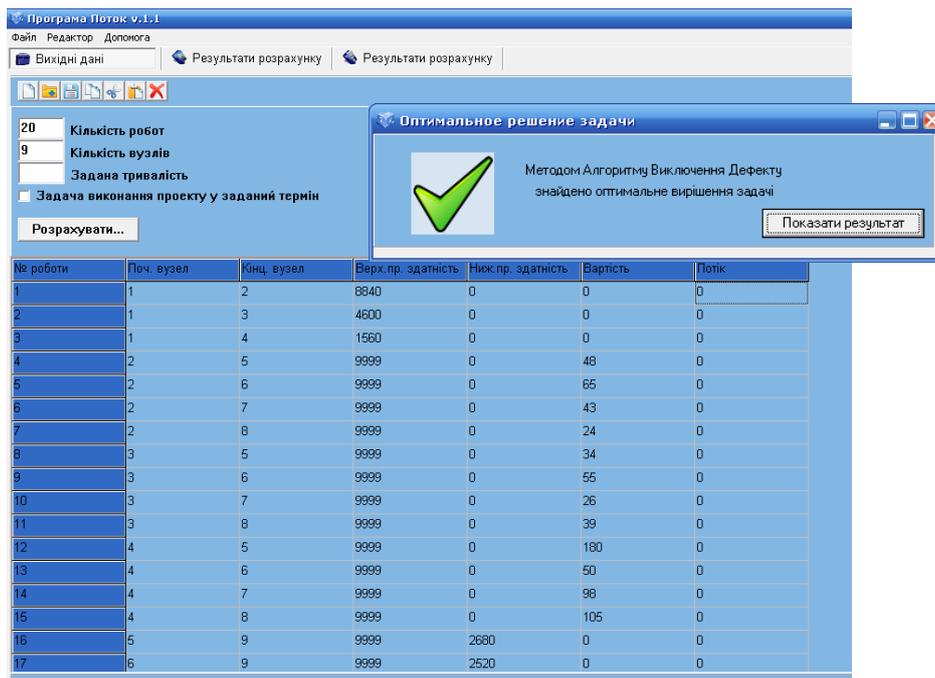


Рис. 2. Интерфейс программы «ПОТОК v1.1»

Исходные данные

Номер работы	Начальный узел	Конечный узел	Верхняя пропускная способность	Нижняя пропускная способность	Стоимость	Поток
1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	8840	0	0	0
2	1	3	4600	0	0	0
3	1	4	1560	0	0	0
4	2	5	9999	0	48	0
5	2	6	9999	0	65	0
6	2	7	9999	0	43	0
7	2	8	9999	0	24	0
8	3	5	9999	0	34	0
9	3	6	9999	0	55	0
10	3	7	9999	0	26	0
11	3	8	9999	0	39	0
12	4	5	9999	0	180	0
13	4	6	9999	0	50	0
14	4	7	9999	0	98	0

1	2	3	4	5	6	7
15	4	8	9999	0	105	0
16	5	9	9999	2680	0	0
17	6	9	9999	2520	0	0
18	7	9	9999	8520	0	0
19	8	9	9999	1280	0	0
20	9	1	15000	15000	0	0

Т а б л и ц а 4

Результаты расчета задачи

Целевая функция: 587920

Номер работы	Начальный узел	Конечный узел	Верхняя пропускная способность	Нижняя пропускная способность	Стоимость	Поток
1	1	2	8840	0	0	8840
2	1	3	4600	0	0	4600
3	1	4	1560	0	0	1560
4	2	5	9999	0	48	2680
5	2	6	9999	0	65	960
6	2	7	9999	0	43	3920
7	2	8	9999	0	24	1280
8	3	5	9999	0	34	0
9	3	6	9999	0	55	0
10	3	7	9999	0	26	4600
11	3	8	9999	0	39	0
12	4	5	9999	0	180	0
13	4	6	9999	0	50	1560
14	4	7	9999	0	98	0
15	4	8	9999	0	105	0
16	5	9	9999	2680	0	2680
17	6	9	9999	2520	0	2520
18	7	9	9999	8520	0	8520
19	8	9	9999	1280	0	1280
20	9	1	15000	15000	0	15000

Т а б л и ц а 5

Значение P_i

Номер узла	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_i	0	0	17	15	48	65	43	24	0

Т а б л и ц а 6

Оптимальное решение

Поставщики	Производственная мощность, тыс. шт.	Потребители, строительные площадки, тыс. шт.			
		B1	B2	B3	B4
A1	8840	⁴⁸ 2680	⁶⁵ 960	⁴³ 3920	²⁴ 1280
A2	4600	³⁴	⁵⁵	²⁶ 4600	³⁹
A3	1560	¹⁸⁰	⁵⁰ 1560	⁹⁸	¹⁰⁵
		2680	2520	8520	1280

Расчет показал, что при управлении снабжением строительного производства используются методы сетевого моделирования. На их основе можно отобразить в единой модели взаимосвязь всего комплекса вариантов выполнения снабженческих операций, провести их информационное описание соответственно установленным критериям, произвести поиск наиболее эффективного варианта обеспечения строительными ресурсами. Особенность сетевых методов заключается в том, что они эффективно применяются в процессе движения материального потока (строительных ресурсов). Сетевые методы универсальны.

Итак, рассмотрен единый объект «логистическая система», который имеет много разных аспектов, представляющих логистическую систему снабжения, производства и сбыта. Доказано что применение понятия системы позволяет целостно изучать разные аспекты единого логистического объекта (например, только систему снабжения или только систему производства).

Список литературы

1. Стаханов, В.Н. Логистика в строительстве: учеб. пособие / В.Н. Стаханов, Е.К. Ивакин. – М.: Изд-во «Приор», 2001. – 176 с.
2. Логістика: навч. посіб. / О.М. Тридід, Г.М. Азаренкова, С.В. Мішина, І.І. Борисенко. – Київ: Знання, 2008. – 566 с.
3. Логистическая организация капитального строительства / под ред. проф. В.Н. Стаханова. – Ростов н/Д: РГСУ, 1998. – 256 с.
4. Неруш, Ю.М. Логистика: учеб. / Неруш Ю.М. – 4-е изд. перераб. и доп. — М.: ТК Велби, изд-во Проспект, 2006.– 520 с.
5. Окландер, М.А. Логістична система підприємства: монографія / М.А. Окландер. – Одеса: Астропринт, 2004. – 312 с.
6. Денисенко, М.П. Організація та проектування логістичних систем: підручник / М.П. Денисенко [та ін.]: за ред. проф. М.П. Денисенка, проф. П.Р. Лековця, проф. Л.І. Михайлової. – Київ: Цент учбової літератури, 2010. – 336 с.
7. Абрамов, Л.И. Организация и планирование строительного производства. Управление строительной организацией: учеб. для вузов. / Л.И. Абрамов, Э.А. Минаенкова. – М.: Стройиздат, 1999. – 400 с.
8. Кирнос, В.М. Организация строительства / В.М. Кирнос, В.Ф. Залунин, Л.Н. Дадиверина. – Днепропетровск: «Пороги», 2005. – 309 с.
9. Мулкиджанян, Р.Р. Организационные принципы внедрения логистических систем в строительстве / Р.Р. Мулкиджанян // Ж.РИСК. – М., 2007. – №2.
10. Нечепуренко, М.И. Алгоритмы и программы решения задач на графах и сетях / М.И. Нечепуренко, В.К. Попков, С.М. Майнагашев. – Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1998. – 515 с.
11. Павлов, И.Д. Модели управления проектами: учеб. пособие / И.Д. Павлов, А.В. Радкевич. – Запорожье: ГУ «ЗИГМУ», 2004. – 320 с.

References

1. Stahanov, V.N. Logistics in construction: tutorial / V.N. Stahanov, E.K. Ivakin. – M.: Publishing house «Prior», 2001. – 176 p.
2. Logistics: scientific manual / O.M. Tridid, G.M. Azarenkova, S.V. Mishina, I.I. Borisenko. – K.: Znannja, 2008. – 566 p.
3. Logistic organization of capital construction / edited by prof. V.N. Stahanova. – Rostov n/D: RGSU, 1998. – 256 p.
4. Nerush Ju.M. Logistics: textbook / Ju.M. Nerush. – 4th edition, revised and enlarged. – M.: TK Velbi, publishing house «Prospekt», 2006. – 520 p.
5. Oklander, M.A. Logistics Enterprise System: monogr. / M.A. Oklander. – Odessa: Astroprint, 2004. – 312 p.

6. Denisenko, M.P. Organization and design of logistics systems: tutorial / M.P. Denisenko [ets.]; edited by prof. M.P. Denisenka, prof. P.R. Lekovcja, prof. L.I. Mihajlovoi. – K.: Cent uchbovoi literaturi, 2010. – 336 p.
7. Abramov, L.I. Organization and planning of construction industry. Management construction company: textbook for high schools / L.I. Abramov, Je.A. Minaenkova – M.: Strojizdat, 1999. – 400 p.
8. Kirnos, V.M. Construction organization / V.M. Kirnos, V.F. Zalunin, L.N. Dadi-verina. – Dnepropetrovsk: Porogi, 2005. – 309 p.
9. Mulkidzhanjan, R.R. Organizational principles for the implementation of logistics systems in construction // Zh.RISK. –M., 2007. – №2.
10. Nechepurenko, M.I. Algorithms and programs for solving problems on graphs and networks / M.I. Nechepurenko, V.K. Popkov, S.M. Majnagashev. – Novosibirsk: Science, Sib. otdelenie, 1998. –515 p.
11. Pavlov, I.D. Models of project management: tutorial / I.D. Pavlov, A.V. Radkevich. – Zaporozh'e: GU «ZIGMU», 2004. – 320 p.

