

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

Выходит 2 раза в год

Учредитель и издатель

Пензенский государственный
университет архитектуры
и строительства

Главная редакция:

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

Адрес редакции:

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

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

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 31.01.2012.
Формат 60x84 1/8.
Уч.-изд.л. 25,5. Тираж 500 экз. Первый завод 100.
Заказ № 32.

Отпечатано в полиграфическом центре ПГУАС

РЕГИОНАЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО 1(12)/2012

Содержание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ИЗДЕЛИЯ 4

Селяев В.П., Низина Т.А., Егунова Е.А.
СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ
КОМПОЗИТОВ ДЕЙСТВИЮ УФ-ОБЛУЧЕНИЯ. 4

Альбакасов А.И.
ФОРМАЛИЗАЦИЯ СИНТЕЗА
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 10

**Сураева Е.Н., Богатов А.Д., Казначеев С.В.,
Смирнов В.Ф., Ерофеев В.Т.**
СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫХ
КОМПОЗИТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ
БИОЦИДНОЙ ДОБАВКОЙ 16

**Ерофеев В.Т., Волгина Е.В., Казначеев С.В.,
Богатов А.Д., Ерыкалина И.В.**
ОПТИМИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ
КОМПОНЕНТОВ ВИНИЛЭФИРНЫХ
КОМПОЗИТОВ 22

**Ерофеев В.Т., Богатова С.Н., Богатов А.Д.,
Казначеев С.В., Родин А.И.**
БИОСТОЙКИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ
КАРКАСНОЙ СТРУКТУРЫ НА СМЕШАННЫХ
ВЯЖУЩИХ 32

Гарькина И.А., Данилов А.М.
УПРАВЛЕНИЕ В СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМАХ: МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ 39

**Манойло Е.В., Манойло Ю.А., Камбург В.Г.,
Моисеев В.Ф.**
ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ СОДОВОГО
ПРОИЗВОДСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ 43

Фокин Г.А., Фолимагина О.В.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГИПСОВОГО
ВЯЖУЩЕГО ПУТЕМ АКТИВАЦИИ ВОДЫ
ЗАТВОРЕНИЯ ВИХРЕДИНАМИЧЕСКИМ
ПОЛЕМ 51

Демьянова В.С., Гусев А.Д.
ПОЛУЧЕНИЕ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ
БЕТОНОВ РАЗЛИЧНОГО
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНЫХ
МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ 56

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

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	61	Прохоров С.Г., Родионов Ю.В., Аржаева Н.В., Кожунов А.А., Салмин В.В. УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗАВОДА ..	129
Селяев В.П., Селяев П.В., Сорокин Е.В. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ КОЛОНН.....	61	Баканова С.В., Грейсух Г.И., Родионов Ю.В. ВОЗДУШНЫЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ В РЕФРИЖЕРАТОРНОМ ТРЮМЕ	136
Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н. ТРЕХГЛАВЫЙ РЕЛЬСОВЫЙ БЛОК ДЛЯ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК	66	Аверкин А.Г., Еремкин А.И., Леонтьев В.А., Тараканов О.В., Грейсух Г.И. СОЗДАНИЕ БАКТЕРИЦИДНОЙ ВОЗДУШ- НОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОАКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА.....	140
Гучкин И.С., Булавенко В.О. УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ СТАЛЬНОЙ ЗАТЯЖКОЙ, НАКЛАДКАМИ И ФИБРОАРМИРОВАННЫМ ПЛАСТИКОМ ...	69	Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Гарькина И.А., Князев В.А., Давыдов Г.П. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД	148
Туманов В.А. ПОВЫШЕНИЕ ВЫНОСЛИВОСТИ СТАЛЬНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК.....	75	Королева Т.И., Салмин В.В., Ежов Е.Г. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬ- ЗОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА АВТОНОМНЫЙ ИСТОЧНИК ТЕПЛОТЫ.....	154
Черняев А.А. К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ПЛАСТИНОК СРЕДНЕЙ ТОЛЩИНЫ ИЗ УСЛОВИЯ ЖЕСТКОСТИ	83	АРХИТЕКТУРА.....	161
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ	90	Митягин С.Д. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДГО- ТОВКИ ГРАДОСТРОИТЕЛЕЙ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ	161
Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Гарькина И.А., Кошев А.Н. НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕНСИФИКА- ЦИИ РАБОТЫ СТАНЦИЙ БИОЛОГИЧЕ- СКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ИС- ПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ ЭРЛИФТНЫХ УСТРОЙСТВ.....	90	Нефёдов В.А. КАЧЕСТВО ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ КАК ИНТЕГРИРУЮЩИЙ ФАКТОР АРХИ- ТЕКТУРЫ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА И ДИЗАЙНА	165
Гришин Б.М., Андреев С.Ю., Ласьков Н.Н., Камбург В.Г., Демидочкин В.В. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬ- НЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛОТАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИХРЕВЫХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ.....	99	Овчинникова Н.П. О СПЕЦИФИКЕ АРХИТЕКТУРОВЕДЕНИЯ	170
Береговой А.М., Береговой В.А., Мальцев А.В., Петрянина М. А. ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ..	107	Темнов В.Г. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИ- РОВАНИИ ИСКУССТВЕННОЙ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОНИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ КОНСТРУИРОВАНИЯ.....	178
Фильчакина И.Н., Береговой А.М., Ежов Е.Г., Тараканов О.В. ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЁТА ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ РАЗДАЧИ ВОЗДУХА С ИНТЕНСИВНЫМ ГАШЕНИЕМ СКОРОСТИ ПРИТОЧНЫХ СТРУЙ.....	112	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ	184
Кубис В.А., Степанов С.А., Снежкина О.В., Левцев А.П. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЗДУШНОЙ ЗАВЕСЫ	118	Хрусталева Б.Б., Логанина В.И., Учасва Т.В. ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В РАМКАХ МОНИТОРИНГА.....	184
Боровков Д.П., Степанов С.А., Камбург В.Г., Чичиров К.О. РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ АСПИ- РАЦИИ СУШИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ ПОСРЕДСТВОМ ЗАКРУТКИ ПОТОКА В ВОЗДУХОВОДАХ	123	Хаметов Т.И., Букин С.Н. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНВЕСТИРОВАНИЯ В ИННОВАЦИОН- НУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА	188
		Демьянова В.С., Гусев А.Д., Симакина Г.Н. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РЫНКА ЧЕРЕПИЦЫ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	193
		Резник Г.А., Малышев А.А. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА УСТОЙЧИВОСТИ ЭКОЛОГО- ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.....	197

Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS.....	4
Seljaev V.P., Nizina T.A., Egunova E.A. POLYURETHANE COMPOSITES RESISTANCE TO THE EFFECT OF UV-RADIATION	4
Albakasov A.I. FORMALIZATION OF COMPOSITE MATERIALS SYNTHESIS.....	10
Suraeva E.N., Bogatov A.D., Kaznacheev S.V., Smirnov V.F., Yerofeev V.T. THE PROPERTIES OF CEMENT-SAND COMPOSITES MODIFIED BY BIOCIDAL ADDITIVE	16
Erofeev V.T., Volgina E.V., Kaznacheev S.V., Bogatov A.D., Erykalina I.V. OPTIMIZATION OF VINYLESTER COMPOSITES COMPONENTS MAINTENANCE	22
Erofeev V.T., Bogatova S.N., Bogatov A.D., Kaznacheev S.V., Rodin A.I. FRAME STRUCTURE BIORESISTANT BUILDING COMPOSITES ON MIXED BINDUNGS	32
Garkina I.A., Danilov A.M. CONTROL IN COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS: METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF DESIGNING	39
Manoilo E.V., Manoilo Y.A., Kamburg V.G., Moiseev V.F. USE OF SODA PRODUCTION WASTES IN BUILDING INDUSTRY	43
Fokin G.A., Folimagina O.V. EFFICIENCY INCREASE OF MATERIALS ON THE BASIS OF GYPSUM CEMENT BY VORTICAL AND DYNAMIC FIELD ACTIVATION OF MIXING WATER	51
Demyanova V.S., Gusev A.D. PRODUCTION OF FIBRE-REINFORCED CONCRETE FOR VARIOUS APPLICATIONS USING SECONDARY MATERIAL RESOURCES	56
BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS.....	61
Seljaev V.P., Seljaev P.V., Sorokin E.V. EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE ECCENTRICALLY COMPRESSED COLUMNS RELIABILITY	61
Nezhdanov K.K., Kuzmishkin A.A., Garkin I.N. THREE-HEADED RAIL UNIT FOR CRANE GIRDERS	66
Guchkin I.S., Bulavenko V.O. STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE BEAMS BY STEEL BELT, STRAPS AND FIBRE- REINFORCED POLYMER COMPOSITES.....	69
Tumanov V.A. INCREASE OF UNDER CRANE STEEL BEAMS ENDURANCE.....	75
Chernyaev A.A. TO THE QUESTION OF PLATES OF AVERAGE THICKNESS CALCULATION FROM THE RIGIDITY CONDITION	83
ENGINEERING SYSTEMS	90
Andreev S.Yu., Grishin B.M., Garkina I.A., Koshev A.N. NEW TECHNOLOGY OF WASTE WATER BIOLOGICAL PURIFICATION STATIONS WORK INTENSIFICATION WITH AGITATION AIRLIFT DEVICES APPLICATION	910
Grishin B.M., Andreev S.Yu., Laskov N.N., Kamburg V.G., Demidochkin V.V. THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF OIL CONTAINING INDUSTRIAL WASTE WATER FLOTATION PURIFICATION WITH VORTEX MIX DEVICES APPLICATION.....	99
Beregovoi A.M., Beregovoi V.A., Maltsev A.V., Petryanina M.A. THERMAL EFFICIENCY OF THE RESIDENTIAL BUILDINGS DURING THEIR MAINTENANCE ...	107
Filchakina I.N., Beregovoi A.M., Ezhov E.G., Tarakanov O.V. ENGINEERING CALCULATION METHODS OF AIR LOCAL DISTRIBUTION WITH INTENSIVE BLOWOUT SPEED OF SUPPLY AIR JETS.....	112
Kubis V.A., Stepanov S.A., Snezhkina O.V., Levitsev A.P. MODELING THE EFFECTIVENESS OF PROTECTIVE GAS-AIR CURTAIN.....	118
Borovkov D.P., Stepanov S.A., Kamburg V.G., Chichirov K.O. RECONSTRUCTION OF DRYING EQUIPMENT ASPIRATION SYSTEM IN ENTERPRISES OF CONSTRUCTION INDUSTRY THROUGH THE FLOW SWIRLING IN DUCTS	123
Prohorov S.G., Rodionov Y.V., Arzhaeva N.V., Kozhunov A.A., Salmin V.V. UTILIZATION OF SMOKE GASES HEAT IN TECHNOLOGICAL FURNACES OF MACHINE- BUILDING FACTORY	129
Bakanova S.V., Greisukh G.I., Rodionov Y.V. COOLING AIR SYSTEMS IN REFRIGERATOR HOLD.....	136
Averkin A.G., Eremkin A.I., Leontiev V.A., Tarakanov O.V., Greisukh G.I. DEVELOPMENT OF MICROBICIDES AIR ENVIRONMENT BASED ON THE USE OF ELECTRO ACTIVATED WATER IN AIR – CONDITIONING SYSTEMS.....	140
Andreev S.Yu., Grishin B.M., Garkina I.A., Knyazev V.A., Davydov G.P. MATHEMATICAL MODELLING OF SORPTION WASTE WATER PURIFICATION PROCESS KINETICS.....	148
Koroleva T.I., Salmin V.V., Ezhov E.G. ENERGY-SAVING TECHNOLOGY EFFICIENCY IN THE TRANSITION TO INDEPENDENT SOURCE OF HEAT	154
ARCHITECTURE	161
Mityagin S.D. URGENT PROBLEMS OF HIGHLY-QUALIFIED TOWN-PLANNERS TRAINING	161
Nefedov V.A. QUALITY OF URBAN ENVIRONMENT AS AN INTEGRATIVE FACTOR OF ARCHITECTURE, URBAN PLANNING AND DESIGN	165
Ovchinnikova N.P. ABOUT PECULIARITY OF ARCHITECTURAL KNOWLEDGE	170
Temnov V.G. DECISION-MAKING IN THE DESIGN OF ARTIFICIAL HABITAT WITH THE USE OF BIONIC DESIGN PRINCIPLES.....	178
ECONOMICS AND MANAGEMENT	184
Khrustalev B.B., Loganina V.I., Uchaeva T.V. PROCESS CONTROL EFFECTIVENESS THROUGH MONITORING UNDER DIFFERENT SITUATIONS	184
Khametov T.I., Bukin S.N. COST-EFFECTIVE OF INVESTMENT IN INNOVATION ACTIVITY OF CONSTRUCTION COMPANIES.....	188
Demyanova V.S., Gusev A.D., Simakina G.N. THE BASIC DIRECTIONS OF TILE MARKET DEVELOPMENT THE BUILDING COMPLEX OF THE PENZA REGION	193
Reznik G.A., Malyshev A.A. ANALYSIS AND ESTIMATION OF EKOLOGO- ECONOMIC SYSTEM POTENTIAL STABILITY ...	197

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 691.175

*Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева*

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

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

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

Егунова Елена Александровна,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: elenaegunova@yandex.ru

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

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

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

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

Egunova Elena Aleksandrovna,
Postgraduate of the department «Building
designs»
E-mail: elenaegunova@yandex.ru

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ КОМПОЗИТОВ ДЕЙСТВИЮ УФ-ОБЛУЧЕНИЯ

В.П. Селяев, Т.А. Низина, Е.А. Егунова

Приведены экспериментальные данные сопротивления полиуретановых покрытий действию УФ-облучения. Изучено изменение насыщенности цвета покрытий под действием УФ-облучения в зависимости от вида и количества пигмента. Выявлены оптимальные концентрации колеровочных паст пяти различных цветов.

Ключевые слова: защитно-декоративные покрытия, полиуретановые композиты, цветовая насыщенность, стойкость к воздействию УФ-облучения.

POLYURETHANE COMPOSITES RESISTANCE TO THE EFFECT OF UV-RADIATION

V.P. Seljaev, T.A. Nizina, E.A. Egunova

The article presents experimental results of polyurethane covering resistance to UV-irradiation. They have studied the saturation change of colour coatings under the action of UV-irradiation depending on the type and amount of pigment and identified optimal concentration of colouring pastes for 5 different colors.

Keywords: protective-decorative coating, polyurethane composites, color saturation, resistance to UV-radiation.

Полимерные материалы под действием УФ-облучения стареют, что выражается в ухудшении физико-механических свойств, внешнего вида, цвета и блеска. Для оценки стойкости пигментов проводят экспериментальные исследования, заключающиеся в изучении изменения упругопрочностных характеристик и светостойкости окрашенных покрытий, подвергающихся УФ-облучению.

Известно, что вид и массовая доля пигментов оказывают значительное влияние не только на цвет готового покрытия, но и на его укрывистость, устойчивость к действию атмосферных факторов, химических реагентов, высоких температур и других эксплуатационных характеристик.

В качестве пигмента была выбрана колеровочная паста Элакор-ПУ (ООО «ТэоХим») на основе касторового масла и дисперсных красителей пяти цветов: черная, желтая, зеленая, синяя и красная. В ходе экспериментального исследования содержание пигментов варьировалось на уровнях – 1, 3 и 5 %.

В качестве базового состава для колеровки была использована разработанная на предыдущих этапах исследования [1] рецептура на основе местных для Республики Мордовии наполнителей (доломит и цеолит), обладающая более высокими упругопрочностными параметрами, чем промышленно-выпускаемая композиция Соверол-05 (ООО Производственно-строительная компания «СтройПолиХим», г. Чебоксары).

Для исследования стойкости разработанных пигментированных полиуретановых покрытий экспериментально определяли изменение упругопрочностных и декоративных характеристик под действием ультрафиолетового облучения. Интенсивность УФ-облучения составляла 60 Вт/м^2 в диапазоне длин волн 250–400 нм. В качестве источника света была использована ртутная лампа марки ДРТ-400, спектральное распределение энергии излучения которой наиболее близко к солнечной в УФ области. Для выявления изменения цветовой окраски в ходе экспериментального исследования фиксировалось изменение цветовых составляющих и яркости полиуретановых покрытий через 100, 300, 500, 700 и 1000 ч УФ-облучения.

Анализ результатов обработки экспериментальных данных показал: пигменты оказывают неоднозначное воздействие на упругопрочностные и декоративные характеристики полиуретановых композитов; введение пигментов может приводить к снижению предела прочности (рис. 1) и модуля упругости при растяжении; оптимизацию количества пигментов необходимо проводить не только по декоративным параметрам, но и с учетом требуемого уровня упругопрочностных характеристик. Повышение прочностных показателей по сравнению с контрольным составом наблюдается при использовании 5 % синего, 1 % черного и красного пигментов. Наибольшее снижение относительного удлинения при растяжении зафиксировано при введении 1% черного и красного, а также 3 % синего и зеленого пигментов (рис. 2).

Длительное воздействие УФ-облучения (в течение 1000 ч) приводит к снижению относительного удлинения практически для всех исследуемых составов, что свидетельствует об охрупчивании полиуретановых композитов (рис. 2). Наименьшие изменения деформативных характеристик наблюдаются для составов, обладающих наиболее низкими значениями относительных удлинений при растяжении контрольных образцов.

Для оценки изменения декоративных характеристик полиуретановых покрытий при действии УФ-облучения был использован программный комплекс «Статистический анализ цветовых составляющих лакокрасочных покрытий» [2], анализ работы которого приведен в [3].

Данная компьютерная программа позволяет разбивать отсканированное изображение на СМΥК-составляющие и определять значения цветовых составляющих в каждой точке (пикселе) исследуемой поверхности. Для оценки цветовых составляющих (голубой, пурпурной, желтой и черной) и яркости использовалась цветовая палитра с 256 цветами. Сканирование исследуемых образцов выполнялось с разрешением 2400 dpi. Размер анализируемой поверхности составлял 50×50 мм.

По полученным после использования программного комплекса результатам определялись цветовые различия по насыщенности соответственно для голубой, пурпурной, желтой, черной составляющих и яркости и цветовая насыщенность покрытия в целом (рис. 3–5). Количественное описание цветового различия по насыщенности выполнялось путем сравнения исследуемого состава с абсолютно белым, имеющим максимальную ($f(X)=100\%$) плотность распределения при $X=255$:

$$S_p = \frac{\sum_{i=0}^{255} (255 - X_{pi}) \cdot f(X_{pi})}{255 \cdot 100}, \quad (1)$$

где X_{pi} – уровень цветовой составляющей, изменяющийся от 0 до 255; $f(X_{ip})$ – плотность распределения.

Цветовая насыщенность покрытия в целом по 4-м цветовым составляющим и с учетом яркости определялась соответственно по формулам:

$$E_{СМΥΚ} = \sqrt{S_C^2 + S_M^2 + S_Y^2 + S_K^2}, \quad (2)$$

$$E_{СМΥΚН} = \sqrt{S_C^2 + S_M^2 + S_Y^2 + S_K^2 + S_H^2}. \quad (3)$$

где S_C , S_M , S_Y , S_K и S_H – цветовое различие по насыщенности для голубой, пурпурной, желтой, черной составляющих и яркости.

Как показали проведенные исследования (рис. 3), насыщенность цвета для контрольных составов наиболее интенсивно возрастает при увеличении содержания до 3 % для желтого и черного пигментов и до 1 % для синего, зеленого и красного. Дальнейшее увеличение доли пигмента (до 5 %) не приводит к существенному изменению данных характеристик.

Анализ обработки экспериментальных данных показал, что характер изменения насыщенности цвета в течение 1000 ч УФ-воздействия существенно зависит от вида и количества пигмента (рис. 4–5). С увеличением длительности экспонирования наблюдается снижение данной характеристики практически для всех пигментированных составов. Наиболее выраженные процессы характерны для красного и черного пигментов при степени наполнения 5 %.

Наиболее устойчивыми к УФ-облучению оказались зеленый, желтый и синий пигменты. Даже после длительного воздействия облучения составы с этими пигментами практически не меняли своих декоративных характеристик. Для контрольного состава насыщенность цвета лавинообразно повышается до 300 ч УФ-старения, стабилизируясь на последующем этапе.

Проведенные исследования изменения упругопрочностных и декоративных характеристик окрашенных полиуретановых композитов под действием УФ-облучения свидетельствуют о необходимости комплексного подхода к выбору пигментов, так как именно от них в дальнейшем будет зависеть не только внешний вид покрытия, но его эксплуатационные характеристики.

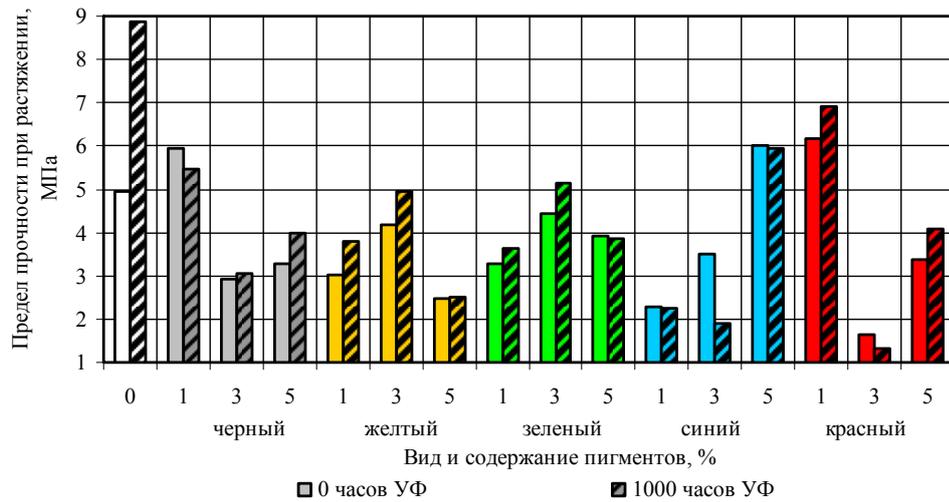


Рис. 1. Диаграммы изменения предела прочности при растяжении полиуретановых композитов в зависимости от вида и содержания пигментов до и после 1000 ч воздействия УФ-облучения

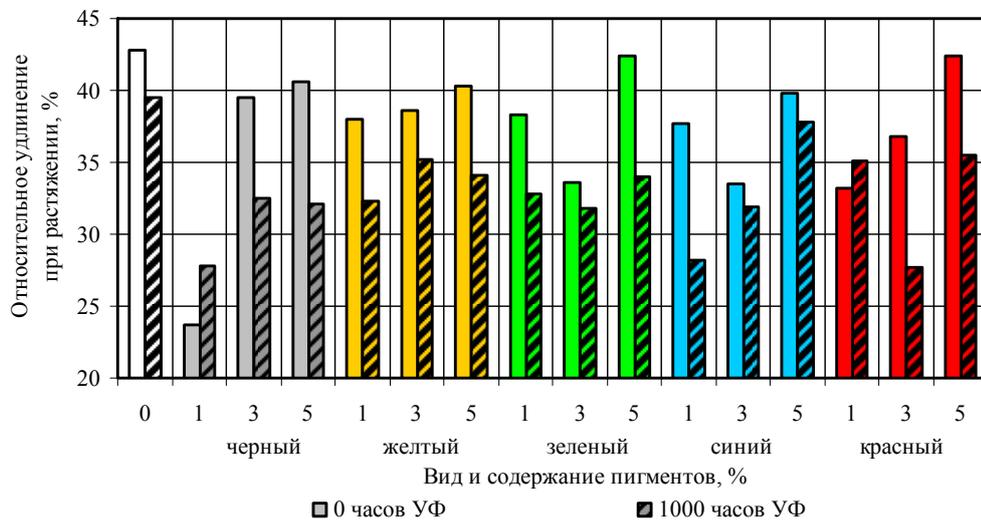


Рис. 2. Диаграммы изменения относительного удлинения при растяжении полиуретановых композитов в зависимости от вида и содержания пигментов до и после 1000 ч воздействия УФ-облучения

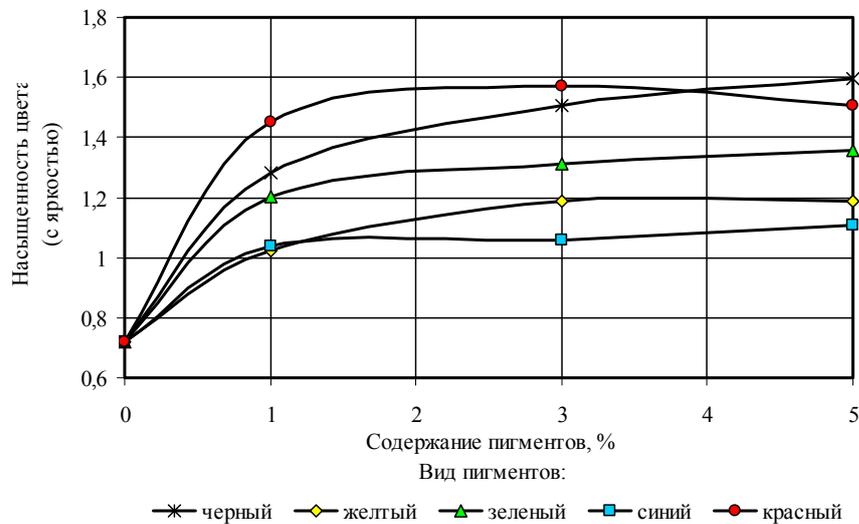


Рис. 3. Изменение насыщенности цвета (с учетом яркости) в зависимости от вида и содержания пигментов

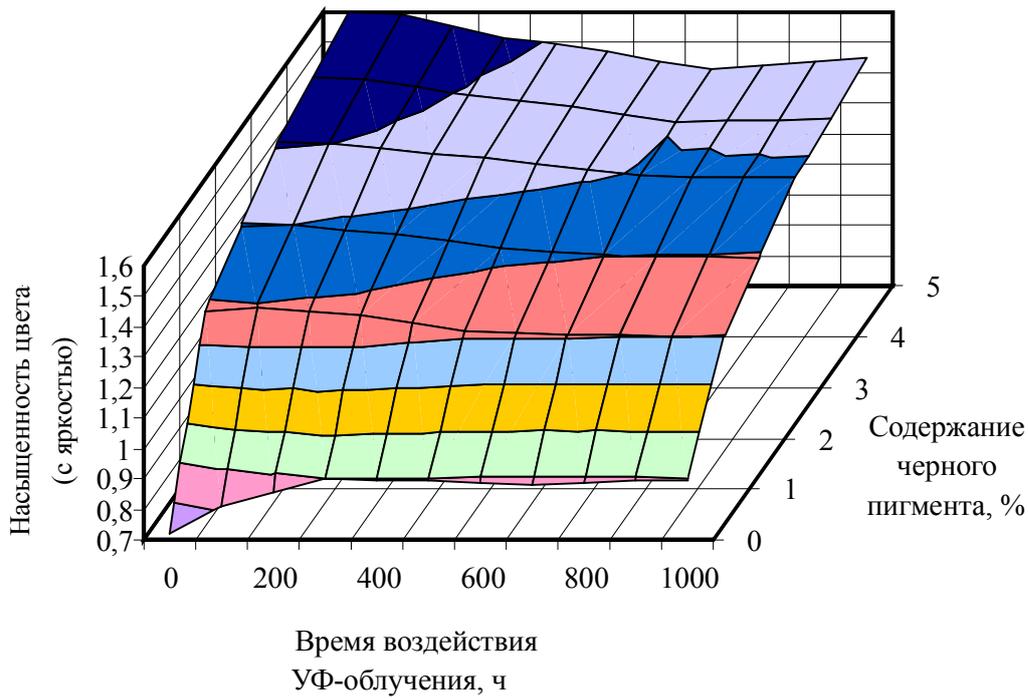


Рис. 4. Изменение насыщенности цвета (с учетом яркости) под действием УФ-облучения для полиуретановых покрытий, содержащих черный пигмент

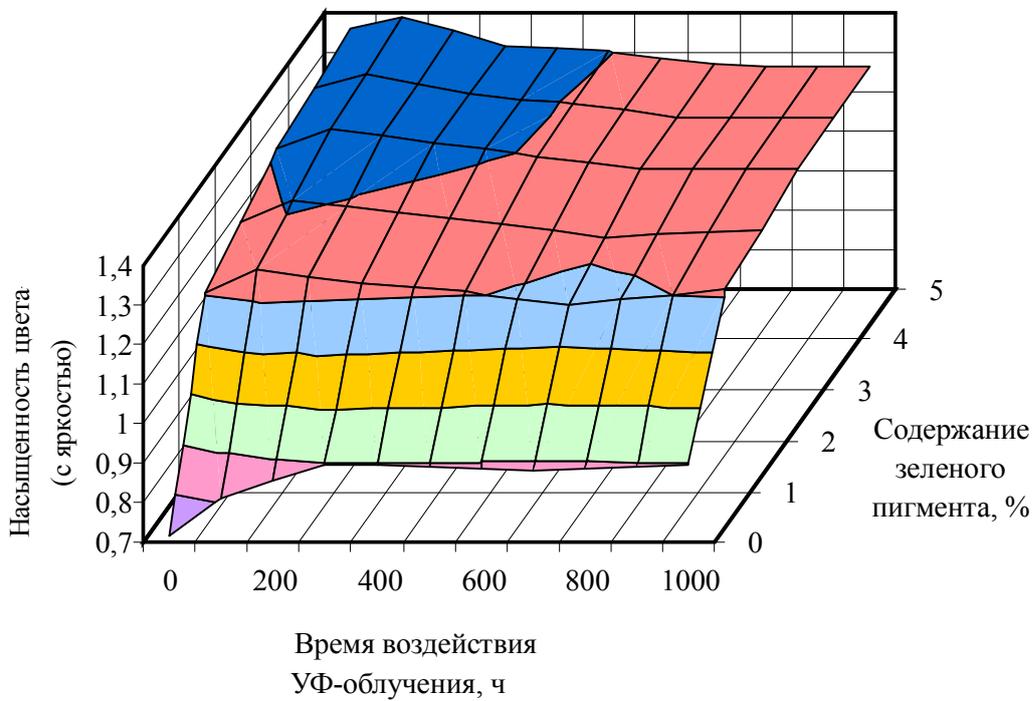


Рис. 5. Изменение насыщенности цвета (с учетом яркости) под действием УФ-облучения для полиуретановых покрытий, содержащих зеленый пигмент

Список литературы

1. Селяев, В.П. Разработка полиуретановых покрытий на основе местных наполнителей Республики Мордовия / В.П. Селяев, Т.А. Низина, Е.А. Егунова // Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии: сб. материалов X Междунар. науч.-техн. конф. – Тула, 2009. – С. 84 – 85.
2. Селяев, В.А. Статистический анализ цветовых составляющих лакокрасочных покрытий / В.П. Селяев, Т.А. Низина, Н.О.Зубанкова, Ю.А.Ланкина // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2006610820 от 28.02.2006 г. в Роспатенте по заявке №2005613472 от 29.12.2005 г.
3. Низина, Т.А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих / Т.А.Низина. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 258 с.

References

1. Seljaev, V.P. Polyurethane covering development on the basis of local Mordovian aggregates / V.P. Seljaev, T.A. Nizina, E.A. Egunova // Actual problems of construction and construction industry: collection of materials of X International scientific conference. – Tula, 2009. – P. 84–85.
2. Seljaev, V.A. Statistic analysis of coloring constituents in larger painting coverings / V.P. Seljaev, T.A. Nizina, N.O.Zubankova, Ju.A.Lankina // Certificate of official registration of the program for ECM №2006610820 ot 28.02.2006 g. in Ruspatente, application №2005613472 ot 29.12.2005 g.
3. Nizina, T.A. Protective decorative coatings on the basis of epoxy and acryl findings / T.A.Nizina. – Saransk: Mordovian university, 2007. – 258 p.

Оренбургский государственный
университет

Россия, 460018, г.Оренбург,
пр.Победы, д.13,
тел./факс 8(3532) 72-37-01

Альбакасов Азамат Илькинович,
кандидат технических наук, доцент, декан
архитектурно-строительного факультета
E-mail: post@mail.osu.ru

Orenburg State University

Russia, 460018, Orenburg,
13, prospect Pobedy,
tel./ fax 8(3532) 72-37-01

Albakasov Azamat Ilkinovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Dean of the Faculty of Architecture
and Construction
E-mail: post@mail.osu.ru

ФОРМАЛИЗАЦИЯ СИНТЕЗА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.И. Альбакасов

Исходя из принципов системного анализа осуществлена разработка серных наномодифицированных композиционных материалов. Приводятся результаты формализованного синтеза при принятых функционалах качества.

Ключевые слова: наномодифицированные композиционные материалы, синтез, формализация.

FORMALIZATION OF COMPOSITE MATERIALS SYNTHESIS

A.I. Albakasov

Based on the principles of system analysis, sulfur corrosion-resistant composite materials on the quartz filler are developed. The results of a formal synthesis with adopted functional qualities are given.

Keywords: corrosion-resistant composite material, synthesis, formalization.

В настоящее время все больше внимания при синтезе материалов уделяется моделированию систем и происходящих в них процессов. При этом при анализе и синтезе сложных систем, в том числе композиционных материалов, широко используется системный подход. Он направлен на упрощение и ограничение разнообразия формализованного описания системы с учетом возможного проявления свойств неопределенности состояния реальной системы.

Существуют различные методы идентификации, основанные на разных подходах к форме задания идентификационных моделей (дифференциальные уравнения, разностные уравнения, передаточные функции и т.п.). Но ни один из методов идентификации нельзя использовать для идентификации всех видов систем (идентификация не рассматривается как набор готовых рецептов для различных типов систем). Ошибки идентификации, приводящие к ошибкам в управлении, могут использоваться для повышения точности идентификации. После математической формулировки задача переходит в сферу математики и за дальнейшую её судьбу в большинстве случаев можно не волноваться. Конечно, здесь нет призыва к тривиальной и претенциозной математизации, когда без математики вполне можно обойтись. Анализ каждой сложной системы (процесса, объекта) – это уникальная проблема, связанная с использованием системного подхода, в котором содержатся экспериментальные, эвристические и строгие математические начала; математический язык рассматривается как наилучшее средство представления системы.

Идентификация свойств и структуры композита (системы) является по отношению к задаче управления качеством материала сопряженной; нельзя управлять системой, если она не идентифицирована (предварительно, либо в процессе управления). Вид модели определяется при структурной идентификации (общая задача идентификации), а ее численные параметры определяются в результате параметрической идентифи-

кации (частная задача идентификации) с учетом экспериментальных данных (значения констант не должны противоречить физическому смыслу и теоретическим соображениям). Неудачный выбор структуры модели сводит на нет и все результаты параметрической идентификации. Создание адекватной модели невозможно без изучения взаимосвязей в моделируемом объекте (налицо парадокс: если объект изучен, зачем его моделировать; а если объект не изучен, то как можно построить адекватную модель; фактически модель не обосновывается, а постулируется на основе эмпирических сведений, которыми располагает исследователь). Модель может быть принята либо отвергнута лишь с учетом наблюдений: адекватность системной модели объекту изучения нельзя доказать. Модельные исследования (итеративные: любая системная проблема решается на основе последовательного приближения и не имеет окончательного решения) часто приводят к открытию новых свойств и закономерностей функционирования изучаемой системы. Ведущая роль моделирования состоит в том, что создание модели должно предшествовать натурным экспериментам и указывать направления сбора информации в процессе наблюдений. В то же время результаты модельных исследований нуждаются в фактических исходных данных и требуют экспериментального подтверждения.

Приведенный подход был реализован при разработке наномодифицированных серных композитов [1...3]. Их качество оценивалось по предельному напряжению сдвига; средней плотности; пористости; прочности при сжатии и изгибе; модулю упругости; сопротивлению истиранию и удару; водопоглощению; термической прочности; коэффициентам интенсивности напряжений, теплопроводности, диффузии, стойкости в воде, кислотах, солях, нефтепродуктах, атмосфере- и морозостойкости (методика формализованной оценки свойств приводится в табл.1). Учитывалась зависимость каждого из свойств от рецептурно-технологических факторов (удельная поверхность наполнителя, концентрация аппрета, продолжительность изотермической выдержки).

Т а б л и ц а 1

Формализованная оценка качества наномодифицированных серных композитов

Показатель	Правило вычисления	Примечания
1	2	3
Подвижность	$k_{\tau} = \frac{\tau_0 - \tau}{\tau_0}$	τ – предельное напряжение сдвига серных смесей $\tau_0 = 150$ Па – максимальное предельное напряжение сдвига серных смесей
Прочность	$k_R = \frac{R_{сж}}{R_{max}}$	$R_{сж}$ – прочность при сжатии R_{max} – максимальная прочность
Трещиностойкость	$k_{тр} = \frac{R_{изг}}{R_{сж}}$	$R_{изг}$ – прочность при изгибе $R_{сж}$ – прочность при сжатии
Упругость	$k_{упр} = \frac{E_{упр}}{E_{упр,0}}$	$E_{упр}$ – модуль упругости $E_{упр,0} = 20000$ МПа (ГОСТ 25246-82**)
Интенсивность напряжений	$k_{кин} = \frac{k_{кин}}{k_{кин,0}}$	$k_{кин}$ – коэффициент интенсивности напряжений наномодифицированного серного композита; $k_{кин,0} = 0,34$ МПа·м ^{0,5} – коэффициент интенсивности напряжений серного композита на кварцевом наполнителе [4]
Теплопроводность	$k_{\lambda} = \frac{k_{\lambda}}{k_{\lambda,0}}$	k_{λ} – коэффициент теплопроводности наномодифицированного серного композита $k_{\lambda,0} = 0,58$ Вт/(м·К) – коэффициент теплопроводности химически стойкого бетона (ГОСТ 25246-82**)

1	2	3
Водопоглощение	$k_W = \frac{W_0 - W}{W_0}$	W – водопоглощение серного композита $W_0 \leq 6\%$ – водопоглощение химически стойкого бетона (ГОСТ 25246–82**)
Сорбционное поглощение	$k_D = \frac{D_0 - D}{D_0}$	D – коэффициент диффузии наномодифицированного серного композита $D_0 = 4,26 \cdot 10^{-12}$ м ² /с – коэффициент диффузии серного композита на кварцевом наполнителе [4]
Водостойкость	$k_{H_2O} = \frac{k_{H_2O}}{k_{H_2O,0}}$	k_{H_2O} – коэффициент водостойкости наномодифицированного серного композита $k_{H_2O,0} = 0,58$ – коэффициент водостойкости серного композита на кварцевом наполнителе [5]
Кислотостойкость	$k_{\text{кислота}} = \frac{k_{\text{кислота}}}{k_{\text{кислота},0}}$	$k_{\text{кислота}}$ – коэффициент кислотостойкости наномодифицированного серного композита $k_{\text{кислота},0} = 0,8$ – коэффициент стойкости в различных неорганических кислотах (ГОСТ 25246–82**)
Солестойкость	$k_{\text{соль}} = \frac{k_{\text{соль}}}{k_{\text{соль},0}}$	$k_{\text{соль}}$ – коэффициент солестойкости наномодифицированного серного композита $k_{\text{соль},0} = 0,8$ – коэффициент стойкости в различных неорганических солях (ГОСТ 25246–82**)
Стойкость в нефтепродуктах	$k_{\text{нефтепр}} = \frac{k_{\text{нефтепр}}}{k_{\text{нефтепр},0}}$	$k_{\text{нефтепр}}$ – коэффициент стойкости наномодифицированного серного композита в нефтепродуктах $k_{\text{нефтепр},0} = 0,8$ коэффициент стойкости в нефтепродуктах (ГОСТ 25246–82**)
Морозостойкость	$k_F = \frac{F}{F_0}$	$F_0 \geq 80$ циклов (ГОСТ 25246–82**)
Атмосферостойкость	$k_{\text{атм}} = \frac{k_{\text{атм}}}{k_{\text{атм},0}}$	$k_{\text{атм}}$ – коэффициент атмосферостойкости наномодифицированного серного композита; $k_{\text{атм},0} = 0,9$ – коэффициент атмосферостойкости серных композитов [4]
Термическая прочность	$k_{t^\circ} = \frac{k_{t^\circ}}{k_{t^\circ,0}}$	k_{t° – коэффициент термической прочности наномодифицированного серного композита $k_{t^\circ,0} = 0,95$ – коэффициент термической прочности серных композитов [6]
Прочность при истирании	$k_{\text{ист}} = \frac{I_0 - I}{I_0}$	I – истираемость серного композита $I_0 = 0,4$ г/см ² (ГОСТ 25246–82**)
Прочность на удар	$k_{\text{уд}} = \frac{R_{\text{уд}}}{R_{\text{уд},0}}$	$R_{\text{уд}}$ – прочность на удар наномодифицированного серного композита $R_{\text{уд},0} = 0,14$ Дж/см ³ – прочность на удар дисперсно-армированных серных композитов [7]

С учётом области применения разрабатываемого материала использовался один из критериев (функционалов качества):

- $F_1 = \alpha_1 \sqrt[4]{K_{\text{фм}}} + \alpha_2 \sqrt[6]{K_{\text{эк}}}$ – для производства штучных изделий;
- $F_2 = \alpha_1 K_{\text{т}} + \alpha_2 \sqrt[4]{K_{\text{фм}}} + \alpha_3 \sqrt[6]{K_{\text{эк}}}$ – для заливки швов и стыков ограждающих

конструкций на предприятиях химической, стекольной, металлургической и других отраслей промышленности, капсулирования радиоактивных и высокотоксичных отходов, а также серных композитов, предназначенных для изготовления серных бетонов, эксплуатирующихся в особо агрессивных условиях.

Приняты обозначения:

- $K_{\text{т}} = k_{\text{т}}$ – характеризует технологические свойства (подвижность смеси);
- $K_{\text{фм}} = \sqrt[4]{k_{\text{Р}} k_{\text{тр}} k_{\text{упр}} k_{\text{кин}}}$ – определяется физико-механическими свойствами

(средняя плотность, пористость, прочность при сжатии и изгибе, коэффициент трещиностойкости, модуль упругости, коэффициент интенсивности напряжений);

- $K_{\text{эк}} = \sqrt[6]{k_{\lambda} k_{\text{W}} k_{\text{D}} k_{\text{H}_2\text{O}} k_{\text{HCl}} k_{\text{H}_2\text{SO}_4} k_{\text{HNO}_3} k_{\text{NaCl}} k_{\text{MgSO}_4} k_{\text{B}} k_{\text{ДТ}} k_{\text{F}} k_{\text{атм}} k_{\text{т}} k_{\text{ист}} k_{\text{уд}}}$ – учитывает эксплуатационные свойства (теплопроводность, водопоглощение, диффузия, стойкость в воде, кислотах, солях, нефтепродуктах, атмосферо- и морозостойкость, термическая прочность, сопротивление истиранию и удару);

• $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – весовые константы, значения которых определялись, исходя из корреляционных зависимостей между глобальными критериями F_1 или F_2 и входящими в них частными критериями.

Для иллюстрации в табл. 2 приводятся расчетные значения F_1 и F_2 для случаев одинаковых значений весовых констант ($\alpha_1 = \alpha_2 = 0,5$ для F_1 ; $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \frac{1}{3}$ для F_2) при различных значениях v_f , концентрации модификатора, продолжительности изотермической выдержки.

Т а б л и ц а 2

Значения F_1 и F_2

№ п/п	Концентрация модификатора, % от массы серы	Продолжительность изотермической выдержки, ч	F_1 ($\alpha_1 = \alpha_2 = 0,5$)	F_2 ($\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \frac{1}{3}$)
1	2	3	4	5
$S_{\text{уд}}=180 \text{ м}^2/\text{кг}$ ($v_f=0,4$)				
1	0	0	0,62	0,63
2		1	0,67	0,66
3		2	0,73	0,69
4		3	0,78	0,71
5	0,2	0	0,71	0,70
6		1	0,72	0,68
7		2	0,84	0,75
8		3	0,89	0,77
9	0,6	0	0,74	0,71
10		1	0,74	0,69
11		2	0,93	0,77
12		3	0,97	0,78
13	1,0	0	0,73	0,69
14		1	0,75	0,65
15		2	0,96	0,69
16		3	0,94	0,63

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
$S_{вд}=300 \text{ м}^2/\text{кг} (v_f=0,35)$				
17	0	0	0,53	0,58
18		1	0,60	0,61
19		2	0,65	0,63
20		3	0,69	0,65
21	0,2	0	0,61	0,64
22		1	0,64	0,63
23		2	0,73	0,66
24	0,6	3	0,78	0,68
25		0	0,65	0,65
26		1	0,66	0,63
27	1,0	2	0,77	0,67
28		3	0,86	0,71
29		0	0,68	0,67
30	1,0	1	0,69	0,62
31		2	0,84	0,64
32		3	0,85	0,57
$S_{вд}=420 \text{ м}^2/\text{кг} (v_f=0,3)$				
33	0	0	0,43	0,52
34		1	0,49	0,54
35		2	0,57	0,58
36		3	0,60	0,60
37	0,2	0	0,51	0,58
38		1	0,51	0,55
39		2	0,64	0,61
40	0,6	3	0,67	0,61
41		0	0,54	0,60
42		1	0,53	0,56
43	1,0	2	0,74	0,66
44		3	0,80	0,69
45		0	0,56	0,61
46	1,0	1	0,53	0,55
47		2	0,80	0,68
48		3	0,78	0,64

При выборе рецептурно-технологических параметров учитывались и значения F_1 при $\alpha_1 = 0,25, \alpha_2 = 0,75$ и $\alpha_1 = 0,75, \alpha_2 = 0,25$, а также F_2 при $\alpha_1 = 0,25, \alpha_2 = 0,25, \alpha_3 = 0,5$; $\alpha_1 = 0,25, \alpha_2 = 0,5, \alpha_3 = 0,25$ и $\alpha_1 = 0,5, \alpha_2 = 0,25, \alpha_3 = 0,25$.

Исходя из экспериментальных данных и соответствующих значений F_1 , рекомендуется использовать состав №12 материала при изотермической выдержке в течение 3 часов: сера – 53,38 %; кварцевый наполнитель – 45,55 % с удельной поверхностью 180 м²/кг; прекурсор – 1,07 % (модификатор – 0,32 %). Предлагаемый наномодифицированный серный композит обладает практически универсальной стойкостью и может быть рекомендован для изготовления специальных серных бетонов, а также штучных изделий; для заливки швов и стыков ограждающих конструкций предприятий химической, стекольной, металлургической и других отраслей промышленности, капсулирования радиоактивных и высокотоксичных отходов.

Список литературы

1. Наномодифицированные коррозионно-стойкие серные строительные материалы / Ю.М. Баженов, Е.В. Королев, И.Ю. Евстифеева, О.Г. Васильева. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева, 2008. – 167 с.
2. Альбакасов, А.И. Дисперсные фазы для серных композитов специального назначения / А.И. Альбакасов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – №2(11). – С.18–23.
3. Альбакасов, А.И. Управление структурой и свойствами наномодифицированных строительных материалов / А.И. Альбакасов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – №2(11). – С.9–17.
4. Королев, Е.В. Радиационно-защитные и химически стойкие серные строительные материалы / Е.В. Королев, Ю.М. Баженов, А.И. Альбакасов. – Пенза, Оренбург: ИПК ОГУ, 2010. – 364 с.
5. Волгушев, А.Н. Серное вяжущее и композиции на его основе / А.Н. Волгушев // Бетон и железобетон. – 1997. – №5. – С. 46–48.
6. Филиппов, Г.А. Серные композиционные материалы, стойкие в растворах плавиковой кислоты: дис. ... канд. техн. наук / Г.А. Филиппов. – Пенза: ПГАСА, 2003. – 176 с.

References

1. Nanomodified corrosion-resistant sulphur building materials / Y.M. Bazhenov, Y.V.Koroliev, I.Y. Evsifeyeva, O.G.Vasilieva. – M.: РГАУ-МСХА, 2008. – P. 167.
2. Albakasov, A.I. Disperse fillers for sulfur composites of special-purpose / A.I. Albakasov, I.A. Garkina, A.M. Danilov, Y.V. Koroliov // Regional Architecture and Construction. – 2011. – № 2 (11). – P. 18–23.
3. Albakasov, A.I. Management of nanomodified building materials structure and properties / A.I. Albakasov, I.A. Garkina, A.M. Danilov, Y.V. Koroliov // Regional Architecture and Construction. – 2011. – № 2 (11). – P. 9–17.
4. Koroliov, Y.V. Radiation-protective and corrosion-resistant sulfur construction materials / Y.V. Koroliov, Yu.M. Bazhenov, A.I. Albakasov. – Penza, Orenburg: OSU, 2010. – 364 p.
5. Volgushev, A.N. Sulfur and binder compositions based on it // Concrete and reinforced concrete. – 1997. – № 5. – P. 46–48.
6. Filippov, G.A. Sulfur composite materials resistant to hydrofluoric acid solutions: dis. ... kand. tech. Science / G.A. Filippov – Penza: PGASA, 2003. – 176 p.

Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева

Россия, 430005 г. Саранск,
ул. Большевистская, 68
тел.: 8(8342)48-25-68

Сураева Елена Николаевна,
инженер кафедры «Строительные материалы и технологии»

Богатов Андрей Дмитриевич,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Строительные материалы и технологии»
E-mail: bogatovad@list.ru

Казначеев Сергей Валерьевич,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы и технологии»
E-mail: kaznacheevsv@rambler.ru

Ерофеев Владимир Трофимович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Строительные материалы и технологии»

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
Россия, 603950, г. Нижний Новгород,
пр. Гагарина, 23
E-mail: unn@unn.ru

Смирнов Василий Филиппович,
доктор биологических наук, профессор
кафедры «Физиология растений»

The Mordvian State University named after N.P.Ogaryov

Russia, 430005, Saransk,
68, Bolshevistskaya St.,
tel.: 8(8342)48-25-68

Suraeva Elena Nikolaevna,
engineer of the department «Building materials and technology»

Bogatov Andrey Dmitryevich,
Candidate of Science, Associate professor of the department «Building materials and technology»
E-mail: bogatovad@list.ru

Kaznacheev Sergey Valerievich,
Candidate of Science, Associate professor of the department «Building materials and technology»
E-mail: kaznacheevsv@rambler.ru

Erofeev Vladimir Trofimovich,
Doctor of Science, Professor,
Head of the department «Building materials and technology»

Nizhniy Novgorod State University of N. I. Lobachevsky
Russia, 603950, N.Novgorod, 23, Gagarin Pr.
E-mail: unn@unn.ru

Smirnov Vasilii Filippovich,
Doctor of biological sciences, Professor of the department «Physiology of plants»

СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫХ КОМПОЗИТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ БИОЦИДНОЙ ДОБАВКОЙ

Е.Н. Сураева, А.Д. Богатов, С.В. Казначеев, В.Ф. Смирнов, В.Т. Ерофеев

В статье рассматриваются вопросы получения составов цементно-песчаных композитов, обладающих биоцидными свойствами. Показано, что путём введения в составы добавки (натрий сернокислый) достигается получение материалов с грибостойкими и фунгицидными свойствами. Методом математического планирования эксперимента проведена оптимизация содержания добавки в композитах различной плотности и композиций различной подвижности. Разработанные составы рекомендуется применять в зданиях и сооружениях с биологически активными средами.

Ключевые слова: биокоррозия, цементные композиты, натрий сернокислый, биосопротивление, долговечность.

THE PROPERTIES OF CEMENT-SAND COMPOSITES MODIFIED BY BIOCIDAL ADDITIVE

E.N. Suraeva, A.D. Bogatov, S.V. Kaznacheev, V.F. Smirnov, V.T. Erofeev

This article examines the questions of getting cement-sand composites with biocidal properties. It is proved that additive of Na_2SO_4 allows to obtain materials with fungus-proof and fungicidal properties. The optimization of the additive's content in the composites of different densities and mobility is carried out by dint of the mathematical planning's method. It is recommended to use the obtained compositions in building of structures with biologically active media.

Keywords: biocorrosion, cement composites, bioresistance, durability, glouber salt.

В настоящее время проблема исследования биокоррозии и биосопротивления материалов и конструкций является исключительно актуальной, т.к. процессы биоразрушения прогрессируют с каждым годом. Биоповреждения материалов вызывают различные живые организмы – от бактерий и грибов до растений и животных. Однако основной вред, по мнению многочисленных авторов, наносят именно микроорганизмы [1, 2]. Степень разрушительного воздействия микроорганизмов определяется физическими, химическими, биологическими и другими факторами [1]. Поражение наиболее интенсивно идет при повышенной влажности, относительно высоких температурах, обилии пыли и загрязнений органической природы. При благоприятных для развития микроорганизмов условиях разрушительные процессы начинаются с переноса их на поверхность изделий, адсорбции, образования и роста микроколоний за счет разрастания гифов и спор, сопровождающегося выделением продуктов метаболизма, их накоплением и коррозионным воздействием. Вследствие этого строительные материалы в зданиях и сооружениях, пораженные микроорганизмами, быстро разрушаются. В биозараженных зданиях и сооружениях, наряду со снижением срока службы строительных конструкций, нарушается экологическая ситуация. Микроорганизмы, содержащиеся в помещениях зданий и сооружений, посредством движения воздушных потоков попадают в легкие человека, оседая на коже, вызывая различные болезни [2]. Таким образом, налицо важнейшая проблема изыскания путей повышения биологического сопротивления и биологической долговечности конкретных материалов и конструкций, образующих здания и сооружения.

Негативное воздействие микроорганизмов предотвращается различными способами: обеззараживанием поверхностей материалов и конструкций, введением биоцидных добавок в состав композиционных материалов и т.д. [1].

Нами в ранее проведенных исследованиях установлено, что биоцидные свойства цементных композитов повышаются при введении в составы добавки сернокислого натрия [3]. Является важным, чтобы при введении в составы строительных материалов биоцидных добавок, наряду с повышением их биологического сопротивления, сохранялись и другие свойства, например, не происходило снижения необходимых для эксплуатации прочностных характеристик цементных композитов и т.д. В этой связи задача настоящих исследований состояла в выявлении зависимостей изменения свойств цементно-песчаного раствора при введении биоцидной добавки (натрий сернокислый) в комплексе с добавками, воздействующими на различные физико-механические свойства материалов. В качестве таких модификаторов рассматривались поверхностно-активная добавка Esaron 1850 и релаксационный порошок Neolith 8800. Поверхностно-активная добавка Esaron 1850 воздействует как пластификатор, образуя воздушные поры, смачивает и диспергирует. Особенно в случаях штукатурных и шпаклевочных составов ведет к облегчению переработки и улучшению потребительских свойств. Esaron 1850 повышает эластичность раствора, предотвращает усадку и образование трещин. При этом повышается морозостойкость и снижается риск образования высолов. Релаксационные порошки Neolith для сухих строительных смесей хорошо диспергируются в воде. Благодаря им улучшаются свойства сухих строительных смесей. Сухие растворы, клеевые и шпаклевочные массы с добавкой Neolith отличаются хорошей эластичностью во время нанесения, имеют повышенную адгезию к различным поверхностям, улучшенную стойкость к истиранию, высокие показатели пластичности и прочности на изгиб.

При проведении эксперимента изготавливались строительные растворы, содержащие в своем составе портландцемент М500 Д0, кварцевый песок фракции 0,14–0,63 мм, добавку и воду затворения. За контрольный вариант был принят цементно-песчаный раствор состава Ц:П=1:3 при В/Ц=0,7. Составы с добавками изготавливались с соблюдением условия равной подвижности с контрольным составом. Составы, принятые для исследований, приведены в табл. 1.

Экспериментальные составы

Номер состава	Цемент ПЦ М500	Песок	Биоцидная добавка Na_2SO_4 , мас.ч.	Вводимые добавки, мас. ч.	
				Neolith 8800 (1)	Esapon 1850 (2)
0-0	100	300	-	-	-
0-1	100	300	3	-	-
0-2	100	300	6	-	-
1(2) – 1	100	300	-	6,5	1
1(2) – 2	100	300	3	6,5	1
1(2) – 3	100	300	6	6,5	1
1(2) – 4	100	300	-	13	2
1(2) – 5	100	300	3	13	2
1(2) – 6	100	300	6	13	2

Исследование биостойкости составов проводилось в соответствии с ГОСТ 9.049–91 двумя методами (1 и 3) [4]. Их сущность заключается в выдерживании образцов, зараженных спорами плесневых грибов, в оптимальных для их развития условиях с последующей оценкой грибостойкости и фунгицидности образцов. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Результаты исследования биологической стойкости цементных композитов

Наименование состава	Степень обрастания грибами, баллы		Характеристика составов по грибостойкости
	Метод 1	Метод 3	
0-0	3	5	Негрибостойкий
0-1	1	2	Грибостойкий
0-2	0	0	Фунгицидный
1-1	0	3	Грибостойкий
1-2	0	2	Грибостойкий
1-3	0	2	Грибостойкий
1-4	0	1	Фунгицидный
1-5	0	3	Грибостойкий
1-6	0	2	Грибостойкий
2-1	0	2	Грибостойкий
2-2	0	2	Грибостойкий
2-3	0	2	Грибостойкий
2-4	0	3	Грибостойкий
2-5	0	2	Грибостойкий
2-6	0	3	Грибостойкий

Из результатов исследований составов, содержащих одновременно биоцидную добавку и добавки Neolith 8800 и Esapon 1850, видно, что содержащиеся: в составе Neolith 8800 – поливиниловый спирт и тройной сополимер ПВА, а в Esapon 1850 – насыщенные жирные спирты с оксидом этилена – несколько снижают биостойкость.

Для изучения влияния вводимых добавок на прочностные свойства цементных композиций был применен 2-факторный план второго порядка. В качестве варьируемых факторов выбраны: содержание натрия сернокислого (X_1) и содержание Neolith 8800 или Esapon 1850 (X_2). По истечении 28 суток твердения в каждой точке поверхности отклика испытывались 5 штук образцов размером 2×2×7 см. За исследуемые параметры были приняты предел прочности при сжатии ($R_{сж}$) и при изгибе ($R_{и}$). План

эксперимента и результаты исследований прочности в относительных величинах приведены в табл. 3, 4.

Т а б л и ц а 3

Матрица планирования и результаты эксперимента
для составов с Na_2SO_4 и Neolith 8800

№ п/п	Обозначение состава	Варьируемые факторы				Результаты испы- таний в относитель- ных величинах	
		в кодированных значениях		в натуральных значениях			
		X_1	X_2	X_1	X_2	$R_{сж}$	$R_{и}$
1	0-0	-1	-1	0	0	1,00	1,00
2	0-1	0	-1	3	0	1,27	0,76
3	0-2	+1	-1	6	0	0,80	0,83
4	1-1	-1	0	0	6,5	0,76	1,03
5	1-2	0	0	3	6,5	1,00	1,13
6	1-3	+1	0	6	6,5	1,20	1,00
7	1-4	-1	+1	0	13	0,65	0,70
8	1-5	0	+1	3	13	0,80	1,05
9	1-6	+1	+1	6	13	0,85	0,93

Т а б л и ц а 4

Матрица планирования и результаты эксперимента
для составов с Na_2SO_4 и Esapon 1850

№ п/п	Обозначение состава	Варьируемые факторы				Результаты испы- таний в относи- тельных величинах	
		в кодированных значениях		в натуральных значениях			
		X_1	X_2	X_1	X_2	$R_{сж}$	$R_{и}$
1	0-0	-1	-1	0	0	1,00	1,00
2	0-1	0	-1	3	0	1,27	0,77
3	0-2	+1	-1	6	0	0,80	0,83
4	2-1	-1	0	0	1	0,80	1,17
5	2-2	0	0	3	1	0,87	1,20
6	2-3	+1	0	6	1	0,67	1,27
7	2-4	-1	+1	0	2	0,53	1,05
8	2-5	0	+1	3	2	0,65	1,03
9	2-6	+1	+1	6	2	0,67	1,07

После проведения статистической обработки результатов эксперимента получены уравнения регрессии:

– для составов с Na_2SO_4 и Neolith 8800

$$R_{сж} = 1,082 - 0,235 \cdot X_1 + 0,235 \cdot X_2 - 0,158 \cdot X_1^2 + 0,105 \cdot X_1 X_2 - 0,088 \cdot X_2^2 - 0,150 \cdot X_1^2 X_2 + 0,230 \cdot X_1 X_2^2; \quad (1)$$

$$R_{и} = 1,094 + 0,015 \cdot X_1 - 0,140 \cdot X_2 - 0,062 \cdot X_1^2 + 0,100 \cdot X_1 X_2 - 0,177 \cdot X_2^2 + 0,190 \cdot X_1^2 X_2 - 0,030 \cdot X_1 X_2^2; \quad (2)$$

– для составов с Na_2SO_4 и Esapon 1850

$$R_{сж} = 0,894 + 0,050 \cdot X_1 + 0,315 \cdot X_2 - 0,187 \cdot X_1^2 + 0,085 \cdot X_1 X_2 + 0,048 \cdot X_2^2 - 0,165 \cdot X_1^2 X_2 - 0,035 \cdot X_1 X_2^2; \quad (3)$$

$$R_{и} = 1,169 - 0,050 \cdot X_1 - 0,135 \cdot X_2 + 0,067 \cdot X_1^2 + 0,050 \cdot X_1 X_2 - 0,258 \cdot X_2^2 + 0,065 \cdot X_1^2 X_2 + 0,085 \cdot X_1 X_2^2. \quad (4)$$

По уравнениям регрессии были построены зависимости, которые приведены на рис.1 и 2.

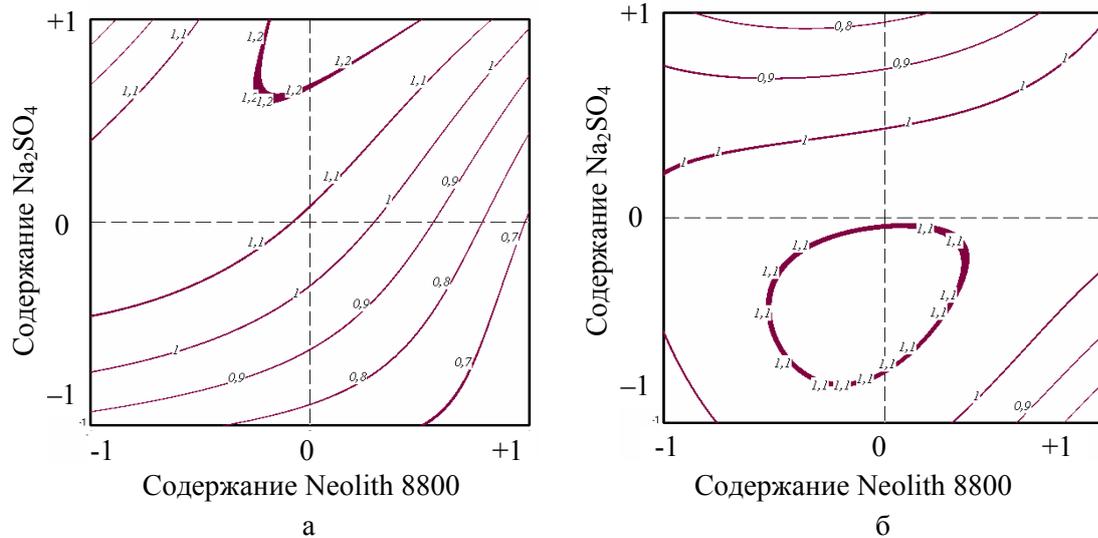


Рис. 1. Зависимости изменения относительных показателей предела прочности при сжатии (а) и при изгибе (б) композитов от количества вводимых добавок Na_2SO_4 и Neolith 8800

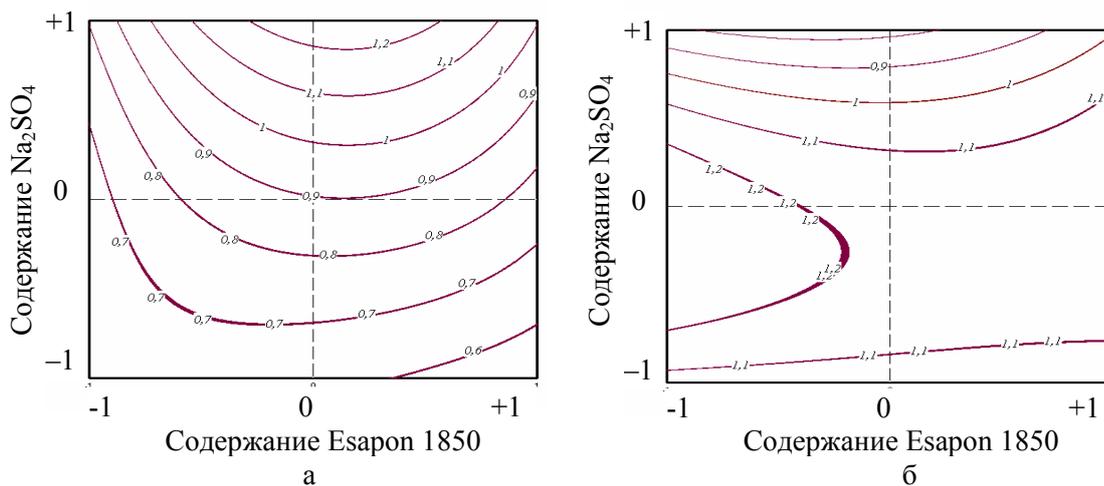


Рис. 2. Зависимости изменения относительных показателей предела прочности при сжатии (а) и при изгибе (б) композитов от количества вводимых добавок Na_2SO_4 и Esapon 1850

Как видно из графиков, наибольшее значение прочности при сжатии (см. рис. 1) имеет состав, содержащий только биоцидную добавку (натрий сернокислый), в количестве 3 мас.ч. от массы цемента. В этом случае предел прочности композита выше на 27 % по сравнению с показателями контрольного состава (состав 0-0). При введении одновременно двух добавок в составы в некоторых опытах прочностные характеристики образцов также повышаются. Это характерно для составов 1-2, 1-3.

Исследования прочности при изгибе (см. рис. 1б, 2б) показали, что при введении добавок Neolith 8800 и Esapon 1850 совместно с биоцидной добавкой (натрия сернокислого) повышается прочность при изгибе на 13–20 %. На графике (см. рис. 1б) видно, что при содержании добавок Na_2SO_4 и Neolith 8800 соответственно 3 и 6 мас.ч. на 100 мас.ч. цемента составы 1-2, 1-3 имеют прочность при изгибе на 11 % больше по сравнению с контрольным составом, а из графика (см. рис.2б) следует, что при

введении добавки Esapon 1850 и натрия сернокислого повышается прочность составов в пределах от 3 до 20 %.

По результатам проведенных испытаний можно сделать заключение о том, что добавление в цементно-песчаные растворы совместно с биоцидной добавкой препаратов Esapon 1850 и Neolith 8800 приводит к повышению не только биостойкости, но и физико-механических показателей.

Разработанные цементные композиты рекомендуется применять в помещениях с биологически активными средами, например, на предприятиях пищевой, химической, медицинской, микробиологической промышленности, а также в сельскохозяйственных, транспортных, гидротехнических зданиях и сооружениях, значительную роль в разрушениях которых играют микроскопические организмы.

Список литературы

1. Биологическое сопротивление материалов / В.И. Соломатов, В.Т. Ерофеев, В.Ф. Смирнов [и др.]. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. – 196 с.
2. Биоповреждения больничных зданий и их влияние на здоровье человека / под ред. А.П. Щербо и В.Б. Антонова. – СПб.: МАПО, 2008. – 232 с.
3. Пат. 2428391 Российская Федерация, МПК C04B28/02 (C09B14/04), C1. Строительный раствор / В.Т. Ерофеев, В.Ф. Смирнов, Е.Н. Сураева [и др.]; заявитель и патентообладатель «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева». – № 2010104275/03 ; заявл. 08.02.10; опубл. 10.09.11. – Бюл. № 25.
4. ГОСТ 9.049–91. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневелых грибов. – М.: Госстандарт, 1992.

References

1. Biological resistance of materials / V.I. Solomatov, V.T. Yerofeev, V.F. Smirnov [etc.]. – Saransk: Publishing house Mordov. Un y, 2001. – 196 p.
2. Biodamages of hospital buildings and their influence on people health; under the editorship of A. P.ShCherbo and V.B.Antonova. – SPb., 2008. – 232 p.
3. A patent 2428391 Russian Federation, MPK C04B28/02 (C09B14/04), C1. A building solution / V.T. Yerofeev, V.F. Smirnov, E.N. Suraeva [and others]; the applicant and owner «the Mordovian state university of N. P. Ogaryov». – № 2010104275/03; declared. 08.02.10; published. 10.09.11. – Bulletin. № 25.
4. GOST 9.049–91. Methods of laboratory research of mouldy mushrooms influence resistance. – M.: Gosstandart, 1992.

Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева

Россия, 430005 г. Саранск,
ул. Большевистская, 68
тел.: 8(8342)48-25-68

Ерофеев Владимир Трофимович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Строительные материалы
и технологии»

Волгина Елена Викторовна,
аспирант кафедры «Строительные
материалы и технологии»
E-mail: ElenkaVolgina@yandex.ru

Казначеев Сергей Валерьевич,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Строительные материалы
и технологии»
E-mail: kaznacheevsv@rambler.ru

Богатов Андрей Дмитриевич,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Строительные материалы
и технологии»
E-mail: bogatovad@list.ru

Ерыкалина Ирина Владимировна,
магистрант кафедры «Строительные
материалы и технологии»
E-mail: eryk-irina@yandex.ru

The Mordvian State University named
after N.P.Ogaryov

Russia, 430005, Saransk, 68, Bolshevistskaya St.,
tel.: 8(8342)48-25-68

Erofeev Vladimir Trofimovich,
Doctor of Science, Professor,
Head of the department «Building materials
and technology»

Volgina Elena Viktorovna,
Graduate student of the department «Building
materials and technology»
E-mail: ElenkaVolgina@yandex.ru

Kaznacheev Sergey Valerievich,
Candidate of Science,
Associate professor of the department
«Building materials and technology»
E-mail: kaznacheevsv@rambler.ru

Bogatov Andrey Dmitryevich,
Candidate of Science,
Associate professor of the department
«Building materials and technology»
E-mail: bogatovad@list.ru

Erykalina Irina Vladimirovna,
Graduate of the department «Building
materials and technology»
E-mail: eryk-irina@yandex.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ВИНИЛЭФИРНЫХ КОМПОЗИТОВ

В.Т. Ерофеев, Е.В. Волгина, С.В. Казначеев, А.Д. Богатов, И.В. Ерыкалина

Рассмотрен вопрос оптимизации компонентов в винилэфирных композитах. Составлен комплексный симметричный трехуровневый план второго порядка. Выявлены составы композитов на основе винилэфирной смолы с высокими показателями прочности при изгибе, прочности при сжатии, модуля упругости, модуля деформации, относительной сжимаемости и предельной относительной сжимаемости.

Ключевые слова: отверждающая система, наполнитель, прочность, деформативность, уравнение регрессии.

OPTIMIZATION OF VINYLESTER COMPOSITES COMPONENTS MAINTENANCE

V.T. Erofeev, E.V. Volgina, S.V. Kaznacheev, A.D. Bogatov, I.V. Erykalina

The authors examine the problem of optimizing the components in vinyl ester composites. They have made a complex symmetric three-tiered plan of the second order and identified composites compounds on the basis of vinylester resin with high flexural strength, compressive strength, modulus of elasticity, modulus of deformation, relative compressibility and limiting relative compressibility.

Keywords: curing system, filling material, strength, deformability, regressii equation.

Интенсификация строительства сопровождается непрерывными поисками более совершенных композиционных материалов. Примером таких поисков могут служить работы по улучшению свойств бетонов с помощью полимеров. К конструкционным

материалам подобного типа относятся полимербетоны. К числу наиболее распространенных полимерных связующих, применяемых для изготовления полимерных композитов, относятся эпоксидные, полиэфирные и другие смолы [1–3]. В последнее время отечественная промышленность стала выпускать винилэфирные смолы. Свойства полимерных композитов на их основе малоизучены. Нами были проведены исследования влияния количественного соотношения компонентов отверждающей системы, а также вида и содержания наполнителей на основные свойства композитов на основе винилэфирной смолы марки РП-14С.

На первом этапе исследования, при оптимизации компонентов отверждающей системы, рассматривалась система, в состав которой входили пероксид циклогексанон (ПЦОН-2), октоат кобальта (ОК-1) и 10 % раствор диметиланилина в стироле (ДМА), содержание которых варьировалось в пределах эксперимента в соотношении 0,5–2,5, 1–5 и 1–3 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно. Исследования проведены с применением методов математического планирования эксперимента. В качестве матрицы планирования использовали комплексный симметричный трехуровневый план второго порядка с количеством опытов, равным 13.

В результате статистической обработки экспериментальных данных были получены уравнения регрессии следующего вида:

$$y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_{11} \cdot X_1^2 + b_{12} \cdot X_1 X_2 + b_{13} \cdot X_1 X_3 + b_{22} \cdot X_2^2 + b_{23} \cdot X_2 X_3 + b_{33} \cdot X_3^2,$$

где X_1 , X_2 и X_3 – варьируемые факторы; b , b_1 , b_2 , b_3 , b_{11} , b_{12} , b_{13} , b_{22} , b_{23} , b_{33} – коэффициенты уравнения регрессии.

Варьируемые факторы: X_1 – содержание пероксида циклогексанона; X_2 – содержание октоата кобальта; X_3 – содержание раствора диметиланилина в стироле. Оптимизируемые показатели: прочность при изгибе ($R_{изг}$), прочность при сжатии ($R_{сж}$), модуль упругости (E), модуль деформации (E'), относительная сжимаемость (ϵ), предельная относительная сжимаемость (ϵ'). Матрица планирования и рабочая матрица приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Матрица планирования и рабочая матрица

Номер опыта	Матрица планирования			Рабочая матрица		
	X_1	X_2	X_3	Содержание ПЦОН-2, мас. ч.	Содержание ОК-1, мас. ч.	Содержание ДМА, мас. ч.
1	0	+1	+1	1,5	5	3
2	+1	0	+1	2,5	3	3
3	-1	0	+1	0,5	3	3
4	0	-1	+1	1,5	1	3
5	+1	+1	0	2,5	5	2
6	-1	+1	0	0,5	5	2
7	0	0	0	1,5	3	2
8	+1	-1	0	2,5	1	2
9	-1	-1	0	0,5	1	2
10	0	+1	-1	1,5	5	1
11	+1	0	-1	2,5	3	1
12	-1	0	-1	0,5	3	1
13	0	-1	-1	1,5	1	1

Было изготовлено по 5 образцов каждого состава. Причем добавление каждого компонента отверждающей системы в ненасыщенную винилэфирную смолу РП-14С осуществлялось в работающий смеситель постепенно. Через 24 часа после заливки образцы подверглись постотверждению в сушильном шкафу при температуре 80 °С в

течение 6 часов, после чего испытывались на изгиб и сжатие. Получены показатели прочности и деформативности составов (табл. 2).

Обработка результатов эксперимента позволила определить коэффициенты уравнения регрессии, которые для каждого показателя свойств приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 2

Прочность и деформативность составов

Номер состава	Прочность, МПа		Модуль упругости, МПа	Модуль деформации, МПа	Относительная сжимаемость, %	Предельная относительная сжимаемость, %
	На изгиб	На сжатие				
1	55,65	91,11	2558,01	1642,86	2,22	4,81
2	66,53	88,15	3471,67	1676,24	0,81	4,47
3	71,68	94,08	12633,56	3478,40	1,44	3,59
4	36,94	99,26	2242,87	1667,60	1,21	4,93
5	38,59	102,22	3318,81	2537,60	2,48	4,13
6	58,32	104,45	3267,53	2733,62	2,26	3,73
7	37,25	90,37	3382,72	2487,23	1,46	3,47
8	61,54	88,15	13798,98	7015,65	0,85	2,83
9	56,26	87,41	2306,36	1911,36	3,15	4,38
10	51,02	98,52	3406,02	2644,11	1,90	3,19
11	43,87	97,04	3498,77	2040,17	1,48	4,69
12	54,85	82,22	4087,20	2174,95	0,99	3,49
13	59,86	101,48	3434,20	2287,20	2,06	4,45

Т а б л и ц а 3

Коэффициенты уравнения регрессии

Показатель	Коэффициенты									
	b	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{22}	b_{23}	b_{33}
$R_{изг}$	37,25	-3,823	-1,377	2,65	12,396	-6,252	1,457	4,031	6,887	9,586
$R_{сж}$	90,37	0,925	2,50	-0,833	-1,016	-0,743	-5,188	6,204	-1,297	1,019
E	3382,7	224,19	-1154	809,99	2651,3	-2860	-2143	-361,1	85,83	-111,3
E'	2487,2	371,41	-415,5	-85,16	672,16	-1325	-416,8	390,16	-95,41	-816,9
ε	1,46	-0,277	0,199	-0,094	0,029	0,63	-0,28	0,696	0,293	-0,309
ε'	3,47	0,116	-0,091	0,247	0,006	0,487	-0,08	0,291	0,285	0,584

Из анализа данных, приведенных в табл. 2 и 3, следует, что максимальное значение предела прочности при изгибе, равное 82 МПа, достигается при содержании диметиланилина, пероксида циклогексанона и октоата кобальта в количестве 3, 0,5 и 5 мас. ч. на 100 мас.ч. смолы соответственно. При начальной концентрации диметиланилина (1–2 мас. ч.) наибольшие значения данного показателя зафиксированы при содержании в системе 0,5 мас. ч. пероксида циклогексанона, а также при концентрации ПЦОН-2 и ОК-1 в количестве 2,5 и 1 мас. ч. на 100 мас.ч. смолы соответственно. Для большинства соотношений компонентов отверждающей системы минимальные значения прочности при изгибе зафиксированы при содержании диметиланилина, пероксида циклогексанона и октоата кобальта в количестве 1,5–2, 1,5–1,8 и 2–4 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно. Так, минимальное значение предела прочности при изгибе зафиксировано в случае использования отверждающей системы из ДМА, ПЦОН-2 и ОК-1 в количестве 2, 1,6 и 2,7 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно. При этом, исходя из величины исследуемого параметра, следует отметить, что при повышении содержания раствора диметиланилина концентрацию октоата кобальта, как правило, также целесообразно увеличивать. Значения предела прочности на сжатие исследованных винилэфирных композитов находятся в пределах от 84 до 106 МПа, т.е. изменения данного параметра менее существенны, чем у предела прочности при изгибе. Максимальное его значение, равное 106 МПа, достигается

при содержании диметиланилина, пероксида циклогексанона и октоата кобальта в количестве 1, 2,5 и 5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно. На величину исследуемого показателя положительное влияние оказывает повышение концентрации отвердителя и ускорителя (некоторое снижение прочности происходит при введении 2–3 мас. ч. октоата кобальта), а увеличение содержания ДМА, наоборот, обуславливает незначительное его уменьшение.

Начальный модуль упругости отвержденных винилэфирных матриц, как следует из анализа графиков, достигает своего максимального значения, равного 11 220 МПа, при содержании диметиланилина, пероксида циклогексанона и октоата кобальта в количестве 1, 2,5 и 1 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно. Изменение данного показателя в зависимости от состава отверждающей системы происходит в пределах от 490 до 11 200 МПа.

Следует отметить, что при начальной концентрации диметиланилина (1–1,5 мас. ч.) наибольшие значения модуля упругости соответствуют максимальному содержанию пероксида циклогексанона и минимуму октоата кобальта ($X_1 = +1$, $X_2 = -1$). При увеличении содержания ДМА помимо этого отмечается и другое соотношение отвердителя и ускорителя, при котором происходит рост исследуемого показателя – 0,5 мас. ч. ПЦОН-2 и 5 мас. ч. ОК-1 на 100 мас. ч. смолы соответственно ($X_1 = -1$, $X_2 = +1$). Значения модуля деформации находятся в интервале от 570 до 5 660 МПа, наибольшее значение достигается при содержании ДМА – 2, ОК-1 – 1, а ПЦОН-2 – 2,5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы. Наибольшие значения модуля деформации соответствуют максимальной концентрации пероксида циклогексанона и минимальной октоата кобальта – 2,5 и 1 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы ($X_1 = +1$, $X_2 = -1$). Влияние содержания диметиланилина в отверждающей системе на исследуемый показатель выражено незначительно.

Значения относительной сжимаемости исследованных составов лежат в интервале от 0,06 до 2,89 %. Практически при всех концентрациях ДМА наибольшие значения данного показателя зафиксированы при концентрации ПЦОН-2 и ОК-1 в количестве 1 и 0,5 мас. ч. ($X_1 = -1$, $X_2 = -1$), а также 5 и 2,5 мас. ч. ($X_1 = +1$, $X_2 = +1$) на 100 мас. ч. смолы соответственно. Минимальные параметры отмечены при концентрации диметиланилина, пероксида циклогексанона и октоата кобальта в количестве 2,5–3, 2,2–2,5 и 1–3 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно. В целом для отверждающей системы в исследованных параметрах повышение относительной сжимаемости композитов обусловлено увеличением содержания октоата кобальта или же сочетанием минимальных концентраций отвердителя и ускорителя. Снижение исследованного показателя обусловлено, наоборот, минимальной концентраций ОК-1 и повышенным содержанием остальных компонентов. Предельная относительная сжимаемость композитов на основе винилэфирной смолы составляет 3,04–5,31 %. Минимальные значения данного показателя отмечены при концентрации диметиланилина, пероксида циклогексанона и октоата кобальта в количестве 2–3, 2 и 5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно. Наибольшая предельная относительная сжимаемость винилэфирных образцов зафиксирована при содержании ДМА – 3, ОК-1 – 5, а ПЦОН-2 – 2,5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы.

На втором этапе были проведены исследования влияния количественного соотношения компонентов отверждающей системы, а также вида и содержания наполнителя на свойства композитов на основе винилэфирной смолы марки РП-14С. Отверждающая система состояла из 10 % раствора диметиланилина в стироле (ДМА) в количестве 1 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы, а также пероксида циклогексанона (ПЦОН-2) и октоата кобальта (ОК-1), которые варьировались в пределах эксперимента в соотношении 1,5–2,5 и 1–5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно. В качестве наполнителя были применены белая и черная сажа, причем содержание той и другой варьировалось в соотношении 5–15 и 10–25 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно. Белая сажа представляет собой гидратированный оксид кремния со следующей химической формулой: $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, а черная сажа (технический углерод) – тонкодисперсное порошкообразное вещество, получаемое сжиганием или термическим разложением газообразных

или жидких углеводов. Данные наполнители предлагаются для использования в качестве усиливающего наполнителя в синтетических полимерных материалах [4]. Кроме того, они позволяют получать материалы со специфическими свойствами. Например, белая сажа может быть использована для получения белых и цветных покрытий, а черная сажа – для чернения покрытий с улучшенными антистатическими свойствами.

Исследования также были проведены с применением методов математического планирования эксперимента. Варьируемыми факторами служили: X_1 – содержание пероксида циклогексанона; X_2 – содержание октоата кобальта; X_3 – содержание наполнителя (белой или черной сажи). Уровни варьирования факторов выбраны такими, чтобы получились малонаполненные материалы лакокрасочного назначения. Матрица планирования и рабочие матрицы приведены в табл. 1 и 4.

Т а б л и ц а 4

Рабочие матрицы для композитов, наполненных белой и черной сажой

Номер опыта	Рабочая матрица №1			Рабочая матрица №2		
	Содержание ОК-1, мас. ч.	Содержание ПЦОН-2, мас. ч.	Содержание белой сажи, мас. ч.	Содержание ОК-1, мас. ч.	Содержание ПЦОН-2, мас. ч.	Содержание черной сажи, мас. ч.
1	3	2,5	15	3	2,5	25
2	5	2	15	5	2	25
3	1	2	15	1	2	25
4	3	1,5	15	3	1,5	25
5	5	2,5	10	5	2,5	17,5
6	1	2,5	10	1	2,5	17,5
7	3	2	10	3	2	17,5
8	5	1,5	10	5	1,5	17,5
9	1	1,5	10	1	1,5	17,5
10	3	2,5	5	3	2,5	10
11	5	2	5	5	2	10
12	1	2	5	1	2	10
13	3	1,5	5	3	1,5	10

Испытания образцов, изготовленных по описанной ранее методике, позволили получить следующие показатели прочности и деформативности составов (табл. 5). В результате статистической обработки экспериментальных данных также были получены уравнения регрессии. Обработка результатов эксперимента позволила определить коэффициенты уравнения регрессии, которые для каждого показателя свойств приведены в табл. 6.

Т а б л и ц а 5

Прочность и деформативность составов

Номер состава	Прочность, МПа		Модуль упругости, МПа	Модуль деформации, МПа	Относительная сжимаемость, %	Предельная относительная сжимаемость, %
	На изгиб	На сжатие				
1	2	3	4	5	6	7
Композиты, наполненные белой сажой						
1	69,98	104,08	2369,47	1311,53	1,79	6,93
2	64,46	90,78	2238,43	1134,12	1,81	6,78
3	51,73	89,26	2218,49	1496,08	2,01	5,55

1	2	3	4	5	6	7
4	54,56	92,31	2479,28	1419,11	1,69	5,63
5	71,74	108,15	2384,69	1758,40	2,08	5,74
6	62,32	111,86	2538,54	1536,46	1,74	6,25
7	64,62	103,35	2331,06	1514,12	1,83	6,07
8	61,11	87,41	2017,37	1287,29	1,71	5,96
9	63,30	105,96	2383,63	1474,33	1,81	6,31
10	68,91	102,23	5429,34	1908,78	1,28	5,44
11	65,42	106,32	2495,11	1448,96	1,67	6,62
12	72,47	105,93	5668,11	2090,45	1,11	4,90
13	69,04	110,02	2684,45	1632,67	1,49	6,09
Композиты, наполненные черной сажей						
1	32,05	76,23	2258,13	1205,16	1,48	5,67
2	32,98	71,35	2512,78	1187,12	1,25	5,09
3	31,28	72,63	2411,93	1240,48	1,24	5,33
4	32,65	67,82	2666,17	1356,40	0,98	4,83
5	43,16	103,12	2823,14	1392,37	1,47	6,34
6	44,96	83,45	2523,67	1266,78	1,56	5,89
7	39,17	87,25	2654,13	1324,67	1,36	5,97
8	32,10	78,29	2842,15	1423,56	1,14	5,34
9	38,11	84,78	2622,94	1192,34	1,23	63,9
10	56,35	108,68	3109,58	1458,14	1,54	6,64
11	42,67	111,07	3212,75	1420,06	1,37	6,60
12	52,11	95,56	2708,94	1238,67	1,56	6,69
13	38,35	96,42	2782,16	1280,44	1,37	6,90

Таблица 6

Коэффициенты уравнения регрессии

Показатель	Коэффициенты									
	b	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{22}	b_{23}	b_{33}
Композиты, наполненные белой сажей										
$R_{изг}$	64,62	1,614	3,117	-4,389	-1,053	2,902	4,945	1,05	3,888	-0,048
$R_{сж}$	103,35	-2,544	3,828	-6,009	-2,046	3,710	0,283	2,041	4,890	-3,231
E	2331,1	-459,1	394,66	-871,4	-42,80	53,10	798,23	42,79	-713,7	866,77
E'	1514,1	-121,0	81,72	-215,0	-12,81	102,24	69,88	12,81	-95,92	41,09
ε	1,83	0,075	0,024	0,219	0,046	0,11	-0,19	-0,041	0,078	-0,226
ε'	6,07	0,261	0,046	0,23	-0,033	-0,04	-0,112	0,027	0,487	-0,075
Композиты, наполненные черной сажей										
$R_{изг}$	39,17	-1,944	4,414	-7,565	0,161	1,052	2,785	0,251	-4,65	0,429
$R_{сж}$	87,25	3,426	5,521	-15,46	0,262	6,540	-4,197	-0,102	-0,962	0,14
E	2654,1	140,41	-24,86	-245,5	28,217	20,065	-100,7	20,627	-183,9	29,252
E'	1324,6	60,605	8,714	-51,02	-29,68	-26,41	-58,69	23,772	-82,24	-23,41
ε	1,360	-0,045	0,166	-0,111	0,001	0,00	0,050	-0,011	0,083	-0,006
ε'	5,970	-0,116	0,135	-0,739	-0,031	0,375	-0,037	0,051	0,275	-0,011

Из результатов, приведенных в табл. 3 и 6, следует, что в пределах эксперимента по матрице планирования с учетом изменяющегося третьего фактора коэффициенты уравнения b_1 , b_2 и b_{12} изменяют свой «знак», т.е. в отдельных случаях изменение факторов при переходе через «0» уровень ведет к увеличению или уменьшению того или иного свойства, меняется также степень воздействия факторов на усиление свойств.

Из анализа данных, приведенных в табл. 5 и 6, следует, что максимальное значение предела прочности при изгибе винилэфирных композитов, наполненных белой сажей,

равное 78 МПа, достигается при содержании наполнителя, октоата кобальта и пероксида циклогексанона в количестве 15, 5 и 2,5 мас. ч. на 100 мас.ч. смолы соответственно. При малой концентрации наполнителя (5 мас. ч.) наибольшие значения данного показателя зафиксированы при минимальной концентрации ОК-1 и ПЦОН-2 (в количестве 1 и 1,5 мас. ч. на 100 мас.ч. смолы соответственно). При увеличении содержания белой сажи (10–15 мас. ч.) максимальные показатели прочности при изгибе, наоборот, зафиксированы при одновременном увеличении концентрации исследованных компонентов отверждающей системы. Минимальное значение предела прочности при изгибе зафиксировано в случае максимального наполнения белой сажой и использования отверждающей системы с минимальной концентрацией исследованных компонентов по матрице планирования (ОК-1 и ПЦОН-2 в количествах 1 и 1,5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно). При этом следует отметить, что при уменьшении степени наполнения белой сажой минимальная прочность при изгибе характерна для образцов с более высоким содержанием пероксида циклогексанона и октоата кобальта. То есть при увеличении степени наполнения концентрацию компонентов отверждающей системы также целесообразно увеличивать. Значения предела прочности на сжатие исследованных винилэфирных композитов находятся в пределах от 80 до 114 МПа, т.е. изменение данного параметра менее существенно, чем изменение предела прочности при изгибе аналогичных композитов. Максимальное значение предела прочности – 114 МПа – достигается при минимальной степени наполнения белой сажой (5 мас. ч.) и минимальном содержании ОК-1 и ПЦОН-2 (1 и 1,5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно). При увеличении степени наполнения происходит незначительное уменьшение прочностных показателей. Так, максимальная прочность составов снижается на 4 и 9 % при увеличении содержания белой сажи до 10 и 15 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно. При этом, как и в случае исследования прочностных характеристик при изгибе, отмечено, что при увеличении степени наполнения концентрацию октоата кобальта и пероксида циклогексанона также целесообразно увеличивать, а при уменьшении количества белой сажи содержание компонентов отверждающей системы следует снижать.

Из анализа результатов следует, что максимальное значение модуля упругости винилэфирных композитов, наполненных белой сажой, равно $6,39 \cdot 10^3$ МПа, достигается при содержании наполнителя, октоата кобальта и пероксида циклогексанона в количестве 5, 1 и 2,5 мас. ч. на 100 мас.ч. смолы соответственно. При малой концентрации наполнителя (5–10 мас. ч.) наибольшие значения данного показателя зафиксированы при сочетании минимального содержания ОК-1 и максимального ПЦОН-2 (в количестве 1 и 2,5 мас. ч. на 100 мас.ч. смолы соответственно), а наименьшие отмечены при минимальном содержании пероксида циклогексанона и максимальном – октоата кобальта (1,5 и 5 мас. ч. на 100 мас.ч. смолы соответственно). При увеличении содержания белой сажи до 15 мас. ч. повышение показателя модуля упругости наблюдается уже при увеличении концентрации ОК-1 и снижении количества ПЦОН-2. Минимальное значение модуля упругости, равно $6,39 \cdot 10^3$ МПа, как и в случае с его максимальным значением, зафиксировано при минимальном наполнении белой сажой, но при использовании отверждающей системы с содержанием ОК-1 и ПЦОН-2 в количестве 5 и 1,5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно. Следует отметить, что при наименьшей степени наполнения наблюдается наибольшая динамика изменения модуля упругости в зависимости от изменения концентрации компонентов отверждающей системы (максимальное значение превышает минимальный показатель почти в 4 раза). При увеличении степени наполнения концентрация компонентов отверждающей системы оказывает уже меньшее влияние на модуль упругости. Так, при содержании белой сажи в количестве 15 мас. ч. его максимальное и минимальное значения составляют 2 940 и 1 620 МПа (разница – почти в 2 раза). Значения модуля деформации исследованных винилэфирных композитов находятся в пределах от 1 200 до 2 040 МПа, т.е. изменение данного параметра менее существенно, чем изменение модуля упругости аналогичных композитов. Максимальное его значение – $2,04 \cdot 10^3$ МПа, как и в случае исследования модуля упругости, достигается при минимальной степени

наполнения белой сажей (5 мас.ч.) и содержании октоата кобальта и пероксида циклогексанона в количестве 1 и 2,5 мас. ч. на 100 мас.ч. смолы соответственно. При увеличении степени наполнения до 10–15 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы происходит незначительное уменьшение модуля деформации: так, его максимальные значения снижаются на 20 %, а минимальные – на 8 %. Следует отметить, что при этом также снижается динамика изменения модуля упругости в зависимости от изменения концентрации компонентов отверждающей системы. Минимальные значения модуля деформации при всех исследованных степенях наполнения белой сажей характерны для отверждающих систем с максимальной концентрацией октоата кобальта и минимальной пероксида циклогексанона (5 и 1,5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно).

Из анализа результатов следует, что значения относительной сжимаемости исследованных винилэфирных составов, наполненных белой сажей, лежат в интервале от 0,97 до 2,04 %. Причем при увеличении степени наполнения относительная сжимаемость композитов увеличивается. Так, при наименьшей степени наполнения винилэфирных составов (содержание белой сажи – 5 мас. ч.) отмечена минимальная сжимаемость исследованных композитов (0,97 %), а максимальные значения не превышают 1,73 %, что в 1,15 раза меньше, чем у составов с большей степенью наполнения. При содержании белой сажи в количестве 5–10 мас. ч. наибольшая относительная сжимаемость соответствует образцам с максимальной концентрацией октоата кобальта и пероксида циклогексанона (5 и 2,5 мас. ч. на 100 мас.ч. смолы соответственно), а наименьшая отмечена при сохранении наивысшей концентрации ПЦОН-2 (2,5 мас. ч.) и снижении количества ОК-1 до минимума (1 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы). При содержании белой сажи в количестве 15 мас. ч. (наибольшая степень наполнения) наивысшая относительная сжимаемость соответствует образцам с минимальной концентрацией октоата кобальта и пероксида циклогексанона (1 и 1,5 мас. ч. на 100 мас.ч. смолы соответственно), а наименьшая отмечена при сохранении наименьшей концентрации ПЦОН-2 (1,5 мас. ч.) и повышении количества ОК-1 до максимума (5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы). Предельная относительная сжимаемость композитов на основе винилэфирной смолы составляет 5,07–6,94 %, т.е. соотношение максимальных и минимальных значений у данного параметра менее существенно, чем у показателей относительной сжимаемости тех же композитов. При наименьшей степени наполнения (содержание белой сажи – 5 мас. ч.) значения предельной относительной сжимаемости находятся в прямой зависимости от концентрации октоата кобальта и в обратной – от содержания пероксида циклогексанона. При повышении содержания белой сажи до 10 мас. ч. подобная зависимость сохраняется, но наиболее значима концентрация октоата кобальта (при его содержании в количестве 5 мас. ч. предельная относительная сжимаемость составляет 6,35–6,41 %, а при снижении ОК-1 до 1 мас. ч. значения исследуемого параметра уменьшаются до 5,79–5,98 %). При максимальной степени наполнения композитов (15 мас. ч.) наиболее существенное влияние на значения предельной относительной сжимаемости оказывает концентрация ПЦОН-2, прямая зависимость от содержания октоата кобальта сохраняется, но является менее значимой.

Максимальное значение предела прочности при изгибе винилэфирных композитов, наполненных черной сажей, равное 60,3 МПа, достигается при содержании наполнителя, октоата кобальта и пероксида циклогексанона в количестве 10, 1 и 2,5 мас. ч. на 100 мас.ч. смолы соответственно. При малой концентрации наполнителя (10–20 мас. ч.) наибольшие значения данного показателя зафиксированы при минимальной концентрации ОК-1 и максимальном содержании ПЦОН-2 (в количестве 1 и 2,5 мас. ч. на 100 мас.ч. смолы соответственно). При увеличении содержания белой сажи до 25 мас.ч. максимальные показатели прочности при изгибе зафиксированы при одновременном увеличении или уменьшении концентрации исследованных компонентов отверждающей системы (ОК-1 и ПЦОН-2 содержатся в количестве 1 и 1,5 или 5 и 2,5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно). При этом следует отметить, что повышение степени наполнения приводит к существенному (до 2 раз) снижению прочности при изгибе. Минимальные значения предела прочности при изгибе при введении наполнителя в количестве 10–20 мас. ч. зафиксированы при максимальной концентрации ОК-1

и минимальном содержании ПЦОН-2 (в количестве 5 и 1,5 мас. ч. на 100 мас.ч. смолы соответственно). Данные показатели находятся в пределах 32–33 МПа, что в 1,8 и 1,4 раза меньше максимальных значений прочности для данной степени наполнения. При максимальном наполнении черной сажей (25 мас. ч.) изменение состава отверждающей системы приводит к уменьшению разницы между максимальными и минимальными значениями прочности при изгибе до величины менее 10 %. Из анализа результатов также следует, что значения предела прочности на сжатие винилэфирных композитов, наполненных черной сажей, находятся в пределах от 60 до 123 МПа; при увеличении степени наполнения, кроме того, отмечено существенное, хотя и менее интенсивное, чем у предела прочности при изгибе, уменьшение данного параметра (при увеличении количества наполнителя с 10 до 25 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы его максимальные и минимальные значения снижаются примерно в 1,5 раза). Максимальное значение – 123 МПа – достигается при минимальной степени наполнения черной сажей (10 мас. ч.) и максимальном содержании октоата кобальта и пероксида циклогексанона (3 и 2,5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно). При увеличении степени наполнения максимальные значения прочности отмечены при той же концентрации ОК-1 и ПЦОН-2. Уменьшение исследуемого параметра до минимальных значений зафиксировано при снижении в отверждающей системе концентрации пероксида циклогексанона, а при наибольшей степени наполнения (25 мас. ч. черной сажи) отмечено резкое падение прочности при одновременном снижении содержания ПЦОН-2 и повышении количества ОК-1. (При их содержании 1,5 и 5 мас.ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно прочность на сжатие снижается до 60 МПа.)

Максимальное значение модуля упругости винилэфирных композитов, наполненных черной сажей, равно $3,24 \cdot 10^3$ МПа, достигается при минимальном содержании наполнителя (10 мас. ч.), а также при содержании октоата кобальта и пероксида циклогексанона в количестве 5 и 1,5 мас. ч. на 100 мас.ч. смолы соответственно. Минимальный модуль упругости – $2,42 \cdot 10^3$ МПа, отмечен, наоборот, при максимальном содержании наполнителя и пероксида циклогексанона (25 и 2,5 мас. ч. на 100 мас.ч. смолы соответственно) и при наименьшем содержании октоата кобальта в количестве 1 мас. ч. При увеличении степени наполнения происходит снижение исследуемого показателя (например, максимальные значения уменьшаются на 20 %). Увеличение концентрации ОК-1, напротив, приводит к повышению модуля упругости, а изменение содержания ПЦОН-2 оказывает минимальное влияние на данный параметр. Из анализа полученных данных, кроме того, следует, что значения модуля деформации винилэфирных композитов, наполненных черной сажей, находятся в пределах от 1 110 до 1 530 МПа, причем оба экстремальных значения отмечены при минимальной степени наполнения (10 мас. ч.). В целом при увеличении степени наполнения происходит некоторое снижение исследуемого параметра. При содержании черной сажи в количестве 10–17,5 мас. ч. наибольшие значения модуля деформации зафиксированы при максимальном содержании компонентов отверждения, а минимальные – при снижении их концентрации. При увеличении степени наполнения до 25 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы отмечено, что повышение количества пероксида циклогексанона приводит к некоторому снижению модуля деформации, а содержание октоата кобальта оказывает незначительное влияние на данный параметр.

Значения относительной сжимаемости винилэфирных составов, наполненных черной сажей, лежат в интервале от 0,97 до 1,64 %. Причем при увеличении степени наполнения относительная сжимаемость композитов снижается. Так, при наименьшей степени наполнения (содержание белой сажи – 10 мас. ч.) у винилэфирных составов отмечена максимальная сжимаемость исследованных композитов (1,64 %), а минимальное значение составляет 1,28 %, что на 10–29 % больше, чем у составов с большей степенью наполнения. При содержании черной сажи в количестве 10 мас. ч. наибольшая относительная сжимаемость соответствует образцам с минимальной концентрацией октоата кобальта и максимальной пероксида циклогексанона (1 и 2,5 мас. ч. на 100 мас.ч. смолы соответственно), а наименьшая, наоборот, отмечена при максимальной концентрации ОК-1 (5 мас. ч.) и снижении количества ПЦОН-2 до минимума

(1,5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы). При повышении содержания черной сажи на значение относительной сжимаемости влияет в основном количество пероксида циклогексанона (при повышении его концентрации исследуемый параметр также увеличивается). Минимальная относительная сжимаемость, равная 0,97 %, соответствует составу с максимальной степенью наполнения (25 мас. ч. черной сажи), а также наименьшим содержанием компонентов отверждающей системы (1 мас. ч. ОК-1 и 1,5 мас. ч. ПЦОН-2 на 100 мас. ч. смолы). Предельная относительная сжимаемость композитов на основе винилэфирной смолы и черной сажи составляет 4,31–7,32 %. При повышении степени наполнения черной сажей максимальные и минимальные значения данного параметра, как и в случае с относительной сжимаемостью, снижаются. При наименьшей степени наполнения (содержание черной сажи – 10 мас. ч.) максимальные значения предельной относительной сжимаемости отмечены при минимальном содержании компонентов отверждающей системы, в случае максимальной степени наполнения наибольшая предельная относительная сжимаемость зафиксирована в случае повышенной их концентрации. При промежуточной степени наполнения (17,5 мас. ч. сажи) существуют два максимума при обоих соотношениях ОК-1 и ПЦОН-2 (1 и 1,5, а также 5 и 2,5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно). Минимальные значения предельной относительной сжимаемости зафиксированы при повышении степени наполнения композитов до 17,5–25 мас. ч. и использовании системы при сочетании максимальной концентрации октоата кобальта и минимального содержания пероксида циклогексанона (5 и 1,5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно).

Таким образом, с помощью методов математического планирования эксперимента проведена оптимизация степени наполнения белой и черной сажей, а также содержания компонентов отверждающей системы – пероксида циклогексанона и октоата кобальта – по показателям прочности при изгибе, прочности при сжатии, модуля упругости, модуля деформации, относительной сжимаемости и предельной относительной сжимаемости композитов на основе винилэфирной смолы. Получены составы композитов повышенной прочности и требуемой деформативности.

Список литературы

1. Каркасные строительные композиты: в 2 ч. / 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. – 372 с.
2. Эпоксидные полимербетоны, модифицированные нефтяными битумами, каменноугольной и карбамидной смолами и аминокпроизводными соединениями / В.Т. Ерофеев, Ю.А. Соколова, А.Д. Богатов [и др.]. – М.: Изд-во ПАЛЕОТИП. 2007. – 240 с.
3. Фурфуролацетоновые композиты каркасной структуры: монография / В.Т. Ерофеев, Д.А. Твердохлебов, К.В. Тармосин [и др.]; под общ. ред. чл.-корр. РААСН В.Т. Ерофеева. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2008. – 220 с.
4. Наполнители для полимерных композиционных материалов / под ред. Г.С. Каца. – М.: Химия, 1981. – 736 с.

References

1. Prefab Building Composites: 2 hours / V.T. Erofeev and N.I. Mishchenko, V.P. Selyaev, V.I. Solomatov; ed. Acad. RAASN V.I. Solomatova. – Saransk: Publishing House of the University of Mordovia, 1995. – 372 p.
2. Epoxy polymer modified bitumen oil, coal and urea resins and amine derivative compounds / V.T. Erofeev, A. Sokolov, A. Bogatov [and others]. – M.: Izd PALEOTYPES. 2007. – 240 p.
3. Furfurolatsetonovye composite frame structure: monograph / V.T. Erofeev, D.A. Tverdokhlebov, K.V. Tarmosin [and others], ed. Ed. Corr. RAASN V.T. Erofeev. – Saransk: Publishing House of the University of Mordovia, 2008. – 220 p.
4. Fillers for polymeric composite materials / Under the editorship of G.S. Katz. – M.: Chemistry, 1981. – 736 p.

*Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева*

Россия, 430005 г. Саранск,
ул. Большевикская, 68
тел.: 8(8342)48-25-68

Ерофеев Владимир Трофимович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Строительные материалы
и технологии»

Богатова Светлана Николаевна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Экономика и управление
в строительстве»

Богатов Андрей Дмитриевич,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Строительные материалы
и технологии»
E-mail: bogatovad@list.ru

Казначеев Сергей Валерьевич,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Строительные материалы
и технологии»
E-mail: kaznacheevsv@rambler.ru

Родин Александр Иванович,
аспирант кафедры «Строительные
материалы и технологии»

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

Russia, 430005, Saransk, 68,
Bolshevistskaya St.,
tel.: 8(8342)48-25-68

Erofeev Vladimir Trofimovich,
Doctor of Science, Professor,
Head of the department «Building materials
and technology»

Bogatova Svetlana Nikolaevna,
candidate of science, Associate professor
of the department

Bogatov Andrey Dmitryevich,
Candidate of Science, Associate professor
of the department «Building materials and
technology»
E-mail: bogatovad@list.ru

Kaznacheev Sergey Valerievich,
Candidate of Science, Associate professor
of the department «Building materials and
technology»
E-mail: kaznacheevsv@rambler.ru

Rodin Aleksandr Ivanovich,
Postgraduate of the department «Building
materials and technology»

БИОСТОЙКИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ КАРКАСНОЙ СТРУКТУРЫ НА СМЕШАННЫХ ВЯЖУЩИХ

В.Т. Ерофеев, С.Н. Богатова, А.Д. Богатов, С.В. Казначеев, А.И. Родин

Представлены результаты исследований по получению композиционных материалов каркасной структуры на смешанных вяжущих. Установлена повышенная биостойкость матричной композиции на основе стеклощелочного связующего. Приведена кинетика набора прочности композитов.

Ключевые слова: каркас, композит, бой стекла, цемент, эпоксидная смола.

FRAME STRUCTURE BIORESISTANT BUILDING COMPOSITES ON MIXED BINDINGS

V.T. Erofeev, S.N. Bogatova, A.D. Bogatov, S.V. Kaznacheev, A.I. Rodin

The authors present the results of research on getting frame structure composite materials on mixed bindings. The raised biofirmness of matrix compositions on the basis of alkali glass binding is established. A kinetic set of composites durability is given.

Keywords: framing, composite material, glass fight, cement, epoxide pitch.

Создание эффективных композиционных материалов, обеспечивающих улучшение их эксплуатационных показателей, снижение материалоемкости и трудоемкости изготовления является важнейшей задачей в области строительного материаловедения. К таковым относятся бетоны раздельного бетонирования, бетоны, изготавливаемые вибронагнетательным способом, бетоны с фиксированным щебеночным каркасом, каркасные композиты и другие материалы с контактной структурой. При контактной упаковке заполнителя в композиционном материале заполняющая часть, цементи-

рованная по поверхностям контакта, образует каркас, или «скелет». Структура каркасного композита представляет собой совокупность соприкасающихся, склеенных друг с другом зерен крупного заполнителя, пустоты между которыми заполнены дисперсной средой [1].

Каркасные композиты формируются в два этапа: вначале изготавливают каркас путем склеивания зерен заполнителя друг с другом с помощью связующих, а затем пустоты полученного крупнопористого каркаса заполняют матричным материалом. Важнейшими структурными и технологическими характеристиками каркасных композитов являются: количественное соотношение расходов связующего и заполнителей; методы уплотнения и отверждения каркаса; реологические параметры пропиточных композиций; способы пропитки каркаса и режимы отверждения изделий.

Особенностью каркасной технологии является то, что каркасы по аналогии с крупнопористыми бетонами можно получать на различных связующих, как и использовать различные связующие для матриц, заполняющих пустоты каркаса, т.е. данная технология позволяет применять комплексные связующие. Такой подход способствует получению эффективных композитов с улучшенными эксплуатационными показателями, снижению расхода связующих и трудоемкости изготовления изделий.

При выполнении исследований в качестве клея каркаса были использованы: цемент ЦЕМ I 42,5Н производства ОАО «Мордовцемент» и эпоксидная смола ЭД-20. При этом В/Ц было принято равным 0,5, а для отверждения смолы применялся полиэтиленполиамин в количестве 10 % от ее массы. В качестве заполнителя в каркасах использовался гранитный щебень фракции 5-10 мм с насыпной плотностью 1400 кг/м³, маркой по прочности М1200; известняковый щебень фракции 5-10 мм с насыпной плотностью 1250 кг/м³, маркой по прочности М400; керамзитовый гравий фракции 5-10 мм с насыпной плотностью 700 кг/м³, маркой по прочности П150.

В каркасе для каждой пары «связующее – заполнитель» должно соблюдаться их оптимальное соотношение. При содержании связующего более оптимального количества излишки будут стекать с заполнителей в низ формы, а при недостаточном его количестве характерно некачественное склеивание в межзерновых контактах. С целью определения оптимального состава каркасов были проведены исследования на цементных и эпоксидных связующих, гранитном, известняковом и керамзитовом заполнителях. Вначале заполнители крупностью 5 – 10 мм размешивались с заведомо большим количеством связующего, затем масса подвергалась вибрированию на сите в течение 15 с, после чего оставшаяся смесь взвешивалась, в результате чего определялось оптимальное количество клея, необходимого для склеивания зерен заполнителя в каркас.

Каркасы изготавливались в металлических формах, которые перед укладкой смесей покрывались парафином. После укладки образцы в течение 1 сут твердели при нормальных условиях. Затем каркасы на цементном клее подвергались термовлажностной обработке по режиму 2+6+2 ч (соответственно время подъема температуры до максимальной, время выдерживания при максимальной температуре и время сброса температуры от максимальной величины до нормальной) с температурой изотермического цикла 90 °С, а на эпоксидном клее – сухой термической обработке при температуре 80 °С в течение 6 часов.

Составы и результаты испытаний образцов каркасов представлены в табл. 1 и 2.

Т а б л и ц а 1

Расход заполнителей на 100 мас. ч. различных связующих

Заполнитель	Расход заполнителей (мас. ч.) в зависимости от вида связующего	
	цементное	эпоксидное
Керамзитовый гравий	300	450
Гранитный щебень	1500	2300
Известняковый щебень	650	2150

Физико-механические свойства каркасов

Вид клея каркаса	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа
Заполнитель – <i>керамзитовый гравий</i>			
Цементный	860	2,0	1,3
Эпоксидный	790	3,6	2,3
Заполнитель – <i>гранитный щебень</i>			
Цементный	1 670	2,6	1,7
Эпоксидный	1 480	4,5	3,9
Заполнитель – <i>известняковый щебень</i>			
Цементный	1 440	2,2	1,5
Эпоксидный	1 340	2,7	1,9

Полученные каркасы были использованы при изготовлении каркасных композитов. Заполнение пустот в каркасах производилось стеклощелочной матрицей с В/Т = 0,45. Технология изготовления стеклощелочных композитов приведена в работах [2–4]. На начальном этапе исследований производилась оптимизация состава пропиточной композиции. Были проведены эксперименты по установлению зависимости изменения предела прочности при сжатии стеклощелочного связующего, состоящего из смесей различных видов стекол. Полученные данные позволят оценить свойства стеклощелочных композитов в пределах границ применения отходов стекла различного типа. Оценка влияния смесей различного вида стекла на свойства материала осуществлялась методом симплекс-решетчатого планирования эксперимента. При исследовании в качестве варьируемых факторов рассматривались следующие компоненты: бой стекла ламп накаливания – X_1 ; бой стекла тарного – X_2 ; бой стекла хрустального – X_3 . Количество каждого вида боя стекла было принято за контролируруемую переменную; количества минеральной добавки, едкого натра и активизатора твердения были зафиксированы на уровнях 18; 5 и 5 % по массе соответственно и на протяжении всего опыта оставались постоянными.

Испытания проводились на образцах-кубиках с размером ребра 2 см. Контроль прочности осуществлялся после термовлажностной обработки составов при температуре 90 °С и последующего твердения при нормальных условиях в течение 28 суток. Статистическая обработка результатов эксперимента позволила выявить зависимости, характеризующие изменение предела прочности при сжатии стеклощелочного связующего в

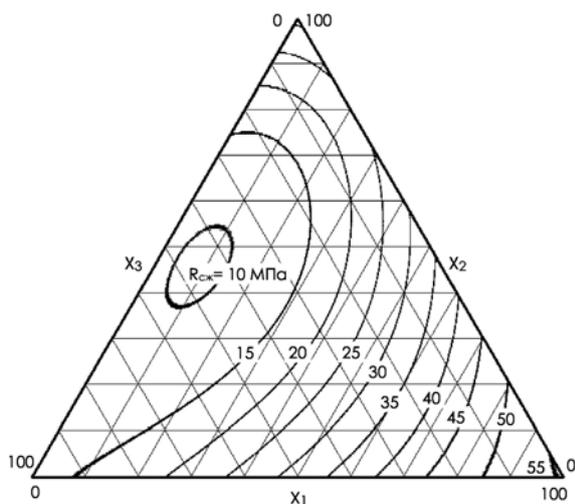


Рис. 1. Зависимость изменения предела прочности при сжатии стеклощелочного связующего от применяемого вида боя стекла

зависимости от изменения вида применяемого боя стекла сырьевой смеси. Получено следующее уравнение регрессии:

$$R(X_1; X_2; X_3) = 55,2 X_1 + 31,37 X_2 + 14,1 X_3 - 37,125 X_1 X_2 - 10,8 X_1 X_3 - 47,68 X_2 X_3 + 60,66 X_1 X_2 (X_1 - X_2) + 26,055 X_1 X_3 (X_1 - X_3) - 30,89 X_2 X_3 (X_2 - X_3) - 154,823 X_1 X_2 X_3.$$

Графические зависимости изменения предела прочности при сжатии от вида применяемого боя стекла приведены на рис. 1.

Из графика следует, что максимальные значения прочностных характеристик наблюдаются у составов с преобладающим содержанием стекла ламп накаливания, которое и было использовано в дальнейших исследованиях в качестве основного компонента стек-

лощелочной матрицы при получении каркасных бетонов. Пропитка крупнопористого каркаса осуществлялась путем погружения в нее с вибрированием на лабораторном столе. Известно, что данный способ получения каркасных композитов наиболее эффективен [1].

По каркасной технологии возможно изготовление изделий различного типа: плит пола, стеновых панелей и т.д. [5,6]. При этом возможно комбинирование видов используемых вяжущих для получения материалов с заданными свойствами. В этой связи проведены исследования кинетики роста прочности каркасных бетонов на комплексных связующих. В ходе эксперимента испытывались образцы материалов, составы которых приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Исследуемые составы строительных композитов каркасной структуры

Номер состава	Наименование компонентов		
	Заполнитель	Клей каркаса	Матрица
1	Керамзитовый гравий	Цементный	Вяжущее на основе боя стекла
2		Эпоксидный	
3	Гранитный щебень	Цементный	
4		Эпоксидный	
5	Известняковый щебень	Цементный	
6		Эпоксидный	

Отверждение пропиточной матрицы происходило в результате термовлажностной обработки. Кинетика последующего набора прочности полученных каркасных композитов представлена на рис. 2-5.

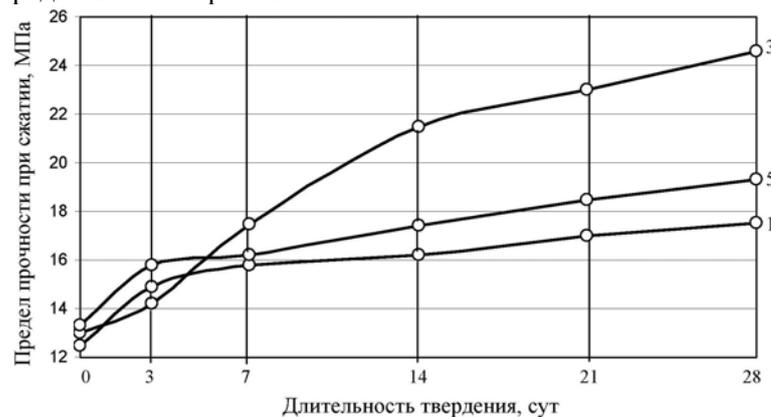


Рис. 2. Зависимость изменения предела прочности при сжатии композитов каркасной структуры (составы 1, 3 и 5) от длительности твердения

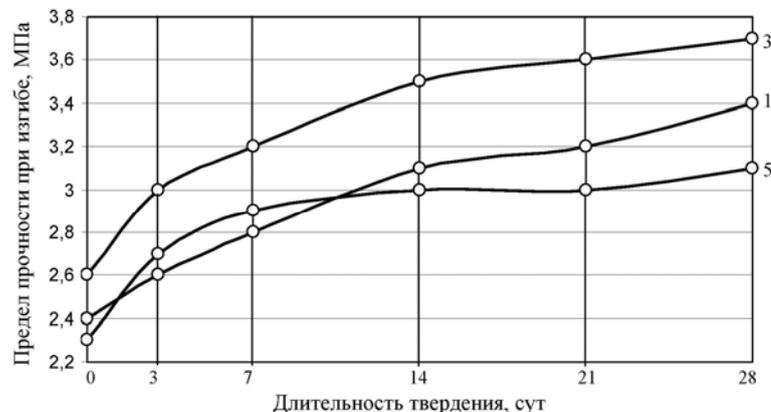


Рис. 3. Зависимость изменения предела прочности при изгибе композитов каркасной структуры (составы 1, 3 и 5) от длительности твердения

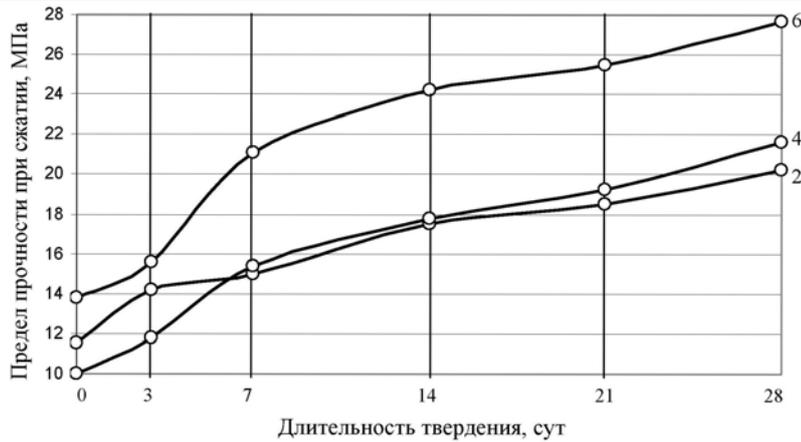


Рис. 4. Зависимость изменения предела прочности при сжатии композитов каркасной структуры (составы 2, 4 и 6) от длительности твердения

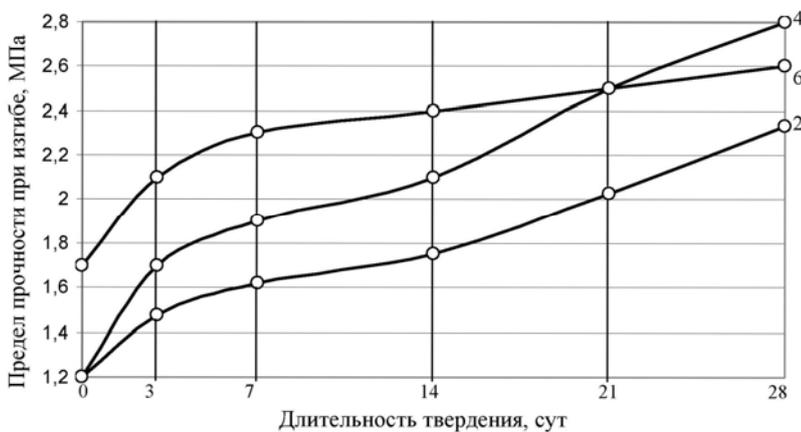


Рис. 5. Зависимость изменения предела прочности при изгибе композитов каркасной структуры (составы 2, 4 и 6) от длительности твердения

Строительные материалы и изделия в процессе эксплуатации подвергаются разрушающему действию биологически активных сред. Биологическая коррозия становится определяющим фактором надежности и долговечности зданий и сооружений. Проблеме изучения влияния воздействия микроскопических грибов и продуктов их метаболизма на свойства строительных материалов в последнее время начинает уделяться все большее внимание. Это связано с тем, что мицелиальные грибы, бактерии, актиномицеты в процессе своей жизнедеятельности способны, если не полностью разрушить конструкцию, то во всяком случае значительно снизить эксплуатационные характеристики материалов, использованных для ее получения.

В последние годы отмечается рост разнообразия и численности микроорганизмов, вызывающих биоповреждения материалов и сооружений. Возросла агрессивность известных видов. Ученые обнаружили более 250 видов микроорганизмов, которые живут внутри пилотируемых космических кораблей. Подсчитано, что ущерб, причиняемый объектам в результате биоповреждений, составляет многие десятки миллиардов долларов.

В наших исследованиях испытания материалов на грибостойкость и наличие фунгицидных свойств проводились в соответствии с ГОСТ 9.049–91 по двум методам: методу 1 (без дополнительных источников питания) и методу 3 (на твердой питательной среде Чапека–Докса). Твердая питательная среда состояла из следующих компонентов: NaNO_3 – 2,0 г; KCl – 0,5 г; MgSO_4 – 0,5 г; KH_2PO_4 – 0,3 г; FeSO_4 – 0,01 г; сахара – 30 г; агар – 20 г; вода дистиллированная – 1 л. Сущность методов заключалась в выдерживании материалов, зараженных спорами плесневых грибов, в оптималь-

ных для их развития условиях с последующей оценкой грибостойкости и фунгицидности образцов.

В табл. 4 приведены полученные результаты исследований, а именно сравнительные данные биологической стойкости вяжущих, используемых для склеивания зерен каркасов – портландцемента и эпоксидного клея, а также для пропитки каркасов – стеклощелочного связующего.

Т а б л и ц а 4

Степень обрастаемости материалов мицелиальными грибами

Материал	Метод 1	Метод 3	Результат
По стандартной методике			
Вяжущее стеклощелочное	0	0 (R* = 45 мм)	Фунгициден
Портландцементный камень	0	3	Грибостоек
Отвержденная эпоксидная смола	2	5	Грибостоек
После выдерживания в течение 3 месяцев в биологической среде			
Вяжущее стеклощелочное	–	1	Фунгициден
Портландцементный камень	–	5	Нефунгициден
Отвержденная эпоксидная смола	–	5	Нефунгициден

*Радиус зоны ингибирования роста грибов.

Следует отметить, что на поверхностях всех составов обнаружено несколько одинаковых видов грибов: *Aspergillus niger*, *Aspergillus ustus*, *Cladosporium elatum*. При этом наименьшее количество видов грибов наблюдалось на образцах стеклощелочного связующего. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что стеклощелочное вяжущее, используемое для изготовления пропиточного состава каркасных композитов, обладает повышенной устойчивостью к воздействию микроскопических организмов.

Таким образом, внедрение в производство технологии получения каркасных строительных композитов на смешанных вяжущих позволит одновременно решить проблему утилизации отходов стекла и получить изделия, показатели биостойкости которых выгодно отличаются от показателей широко используемых композитов. Стеклощелочное связующее целесообразно применять при изготовлении изделий, эксплуатирующихся в условиях воздействия биологически активных сред, при этом поддержание фунгицидных свойств в течение долгого времени возможно путем обработки поверхности биоцидными препаратами.

Список литературы

1. Каркасные строительные композиты: в 2 ч. Ч. 1. Структурообразование. Свойства. Технология / В.Т. Ерофеев, Н.И. Мищенко, В.П. Селяев, В.И. Соломатов. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1995. – 200 с.
2. Пат. РФ № 2081073. М. кл. С 04 В 7/00. Вяжущее / В.Т. Ерофеев, В.И. Соломатов, В.Д. Черкасов, В.И. Бузулуков, Е.А. Морозов, А.В. Симонов. Оpubл. в Б.И. 1997. №16.
3. Богатов, А.Д. Безавтоклавные композиты на основе боя стекла: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Д. Богатов. – Пенза, 1999. – 20 с.
4. Биостойкие строительные композиты на основе отходов стекла / В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов, С. Н. Богатова, А. Д. Богатов, С. В. Казначеев // Вестн. Волгоград. гос. архит-строит. ун-та. – 2009. – №16 (35). – С.122–126.
5. Пат. РФ № 2154135. М. кл. Е 04 С 2/26. Способ изготовления трехслойной панели / В.Т. Ерофеев, В.И. Соломатов, Н.Ф. Бурнайкин и др. Оpubл. в Б.И. 2000. №22.
6. Пат. РФ № 2219316. М. кл. Е 04 С 1/40. Способ изготовления трехслойной панели / В.Т. Ерофеев, В.И. Соломатов, Н.Ф. Бурнайкин и др. Оpubл. в Б.И. 2003. №35.

References

1. Frame building composites: in 2 p. P 1. Structurization. Properties. Technology / V.T. Yerofeev, N.I. Mishchenko, V.P. Selyaev, V.I. Solomatov. – Saransk: Publishing house of the Mordovian university, 1995. – 200 p.
2. Patent RF № 2081073. M. cl. C 04 B 7/00. Knitting / V.T. Yerofeev, V.I. Solomatov, V.D. Cherkasov, V.I. Buzulukov, A.V. Simonov. Publ. in B.I. 1997, №16.
3. Bogatov A.D. Nonautoklave composites on the basis of glass fight : dissertation authors abstract cand. tech. sci. / A.D. Bogatov. – Penza. – 1999.– 20 p.
4. Bioproof building composites on the basis of the glass waste / V.T. Yerofeev, V.F. Smirnov, S.N. Bogatova, A.D. Bogatov, S.V. Kaznacheev // Bulletin Volgograd. state architect-building university. – 2009. – №16 (35), – P.122–126.
5. Patent RF № 2154135. M cl. E 04 C 2/26. A way of manufacturing three-layer a panel / V.T. Yerofeev, V.I. Solomatov, N.F. Burnajkin, etc. Publ. in B. I. 2000. №22.
6. Patent RF № 2219316. M cl. E 04 C 1/40. A way of manufacturing three-layer a panel / V.T. Yerofeev, V.I. Solomatov, N.F. Burnajkin, etc. Publ. in B. I. 2003. №35.

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

Гарькина Ирина Александровна,
доктор технических наук,
доцент 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

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

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

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

УПРАВЛЕНИЕ В СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ: МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

И.А. Гарькина, А.М. Данилов

Предлагаются методологические принципы проектирования сложных систем с позиций теории управления и системного анализа.

Ключевые слова: сложные системы, проектирование, методологические принципы, системный подход.

CONTROL IN COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS: METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF DESIGNING

I.A. Garkina, A.M. Danilov

Methodological principles of design of complex systems from the standpoint of control theory and systems analysis is offered.

Keywords: complex systems, designing, methodological principles, systematic approach.

Сложная система определяется как составной объект, части которого можно рассматривать как системы, закономерно объединённые в единое целое в соответствии с определенными принципами или связанные между собой заданными отношениями. Чтобы подчеркнуть *многообразие* протекающих в системе явлений, используется и понятие «*большая система*». Ее можно расчленивать на подсистемы до получения подсистем первого уровня (элементов). Изучение отношений между элементами и подсистемами, определение роли и места каждой подсистемы в общем процессе функционирования системы составляют предмет *структурного анализа* сложной системы. Для сложных технических систем, обладающих свойством *целостности*, традиционные методы, основанные на поочерёдном изучении отдельных черт системы или отдельных явлений, оказываются малоэффективными (*декомпозиция (расчленение) исходной системы на обособленные части теоретически невозможна*).

Разработка *структуры управления* сложными объектами требует использования *системного подхода*, при котором всегда учитываются: тесная взаимосвязь между факторами (определяющими поведение рассматриваемой системы); неопределённость поведения системы в целом и отдельных её частей; изменение во времени свойств системы и внешней среды и т.д. Естественно, *управление свойствами системы существенно упрощается, если задачу свести к задачам управления выделенными*

частями. Однако практически всегда возникают трудности, связанные с большими погрешностями управления, вызванными отбрасыванием некоторых связей при расчленении системы; выбором множества показателей (*проблема агрегирования; «барьер многомерности»*) для решения задач управления без существенных ошибок, возникающих из-за уменьшения детальности описания системы. Отметим, что определение *стратегии управления* для достижения целей всегда связано с прогнозированием изменения системы и среды, которое *принципиально не может быть точным.*

Основным методом исследования является *математическое моделирование (фактически всегда итеративное)*, в том числе имитация процессов функционирования системы. Разработка математических моделей начинается с оценки функциональных характеристик, являющихся показателями эффективности, надёжности, помехозащищённости, качества управления и других важных свойств (формально *представляются некоторыми функционалами*). Далее методами структурного анализа (частные свойства количественно оцениваются *структурными характеристиками* системы) в системе выделяются подсистемы, находящиеся в заданных отношениях, что дает возможность представить систему в виде совокупности объектов с хорошо изученными *типичными структурами*. Выделяются типичные режимы функционирования, проводится оценка достижимости, управляемости и наблюдаемости, анализируется асимптотическое поведение.

Очевидны преимущества построения математической модели системы на *принципах системного анализа* с использованием *гибкой модульной структуры* и с возможностью оптимизации взаимосвязей при максимальной унификации модулей по классам систем (для конкретной характеристики объекта применяются оригинальные *сепаратные модули*). Естественно, *структурная и параметрическая идентификация* с корректировкой характеристик системы при обязательном учете экспериментальных данных должны осуществляться с требуемой *точностью моделирования* характеристик. Методика идентификации должна быть увязана с перечнем рассматриваемых характеристик систем (ее структуры и свойств); должны быть разработаны перечень допустимых отклонений характеристик модели от характеристик разрабатываемого объекта и методика корректировки характеристик частных моделей (модулей) для устранения указанных отклонений.

Эффективность математического моделирования при синтезе сложных систем в значительной степени определяется тем, насколько точно разработанная *иерархическая структура системы* отражает *взаимодействие между элементами и подсистемами на разных уровнях иерархии.* Первичной при проектировании сложной системы является *иерархическая структура критериев качества:* детализация исследуемого объекта должна производиться на ее основе. Должны учитываться установленные связи между частными критериями качества (свойства системы), элементный состав системы и межэлементные взаимодействия. Нередко взаимодействия включают в состав частных критериев, что неправомерно, хотя именно на основе изучения взаимодействий и определяется иерархическая структура собственно системы. Часто не делают различия между элементами иерархических структур критериев качества и собственно системы; *элемент системы нельзя рассматривать как элемент некоторого уровня иерархической структуры критериев качества.* Разработка иерархических структур как критериев качества, так и собственно системы зависит от уровня изучения межэлементных взаимодействий в системе. Так что *решение задачи синтеза сложной системы в основном определяется степенью изученности взаимодействий между ее элементами.* Детализация иерархической структуры критериев качества – задача более простая, чем детализация структуры самой системы. В этом и состоит *главная концепция системного подхода,* предполагающего познание системы путем не только изучения ее частей, но и рассмотрения системы одновременно во всем комплексе проблем и на всех уровнях организации, в том числе с учетом влияния внешней среды. Познание системы как целостности невозможно без анализа ее частей; целостное описание системы возможно лишь при описании данной системы как некоторой целостности (*парадокс целостности*). С другой стороны, описание системы

возможно только при ее описании как элемента надсистемы (более широкой системы), и наоборот, описание системы как элемента надсистемы возможно только при наличии описания данной системы (*парадокс иерархичности*). Каждая из подсистем выполняет в системе некоторую обобщенную функцию. В целостной сложной системе изменение любого элемента оказывает воздействие на другие элементы системы и ведет к ее изменению. Этим-то и объясняется *невозможность разложения целостной системы на отдельные компоненты без потери ее интегративных (системообразующих) свойств*.

Как и любая другая научная методология, системный подход опирается на эксперимент и ориентирован на выявление закономерностей, непосредственно следующих из наблюдений и экспериментов, поставленных на основе принятой исследователем исходя из целей и задач (носят *прагматический* характер) теоретической концепции. Созданная на основе выявленных факторов и закономерностей *модель* (модели) *объекта фактически заменяет теорию* и становится источником последующих выводов и гипотез. *Декомпозиция системы субъективна*; выбором разбиения системы на подсистемы определяется простота модели системы и возможность ее использования для последующего анализа и прогнозирования поведения системы.

Подытожив, отметим возможность представления сложной системы конечным множеством моделей, позволяющих исследовать определенное свойство или группу ее свойств по одной или нескольким упрощенным (узкоориентированным) моделям (должны быть проще системы). *Создание полной модели для сложной системы практически бесполезно, ибо она будет столь же сложной, как и сама система*. Что касается *проектирования системы*, то оно должно осуществляться исходя из условий непротиворечивости целей и подчинения целей подсистем низшего уровня целям подсистем более высокого уровня (*организмический принцип*). Предполагается *количественная оценка* степеней достижения целей. Так, естественным образом приходим к необходимости решения следующих *основных задач, связанных с проектированием сложной системы*:

- как изменить элементный состав системы, чтобы получить систему с требуемыми характеристиками (при *выбранном* множестве критериев качества и их иерархической структуры);
- как влияют свойства элементов, подсистем и межэлементные взаимодействия на свойства системы в целом;
- как формализовать межэлементные взаимодействия в системе (*чем лучше изучены межэлементные взаимодействия, тем декомпозиция системы возможна с большей точностью*);
- как оценить соответствие модели реальному объекту (*имитационные характеристики модели*).

Способы создания, построения и использования математической модели для решения стоящей перед исследователем проблемы определяются еще на стадии *концептуального проектирования модели* (*когнитивное моделирование* с построением когнитивной карты), которое связано с решением следующих основных задач:

- определение сути исследуемой системы (состав, структура и целевая функция системы);
- выяснение и описание процесса функционирования системы как последовательности состояний под воздействием внешних и внутренних факторов;
- определение показателя эффективности функционирования системы как функции выхода системы;
- отбор подмножества наиболее существенных факторов и показателей, характеризующих процесс функционирования системы;
- формализация математической модели в общем виде (определение характера взаимосвязей между входом, состоянием и выходом системы).

На каждом этапе проектирования (концептуальное, эскизное, техническое, рабочее проектирование; постановка и проведение модельного эксперимента; статистическая

обработка результатов моделирования; формирование альтернативных решений) выполняются одни и те же проектные процедуры:

- *структурный синтез;*
- *составление и анализ математической модели;*
- *параметрическая оптимизация;*
- *статистический анализ результатов;*
- *сравнение теоретических результатов с экспериментальными данными* (связано с проблемой некорректности решения обратных задач).

Некоторые частные методики решения перечисленных задач в процессе проектирования рассмотрены в [1...4].

Список литературы

1. Гарькина, И.А. Управление качеством материалов со специальными свойствами / И.А.Гарькина, А.М.Данилов // Проблемы управления. – 2008. – № 6. – С. 67–74.
2. Гарькина, И.А. Когнитивное моделирование при синтезе композиционных материалов как сложных систем / И.А.Гарькина, А.М.Данилов, Е.В.Королев // Известия вузов. Строительство. – 2009. – №3/4. – С.30-37.
3. Гарькина, И.А. Системные методологии, идентификация систем и теория управления: промышленные и аэрокосмические приложения / И.А.Гарькина, А.М.Данилов, Э.В.Лапшин, Н.К.Юрков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 1(9). – С.3–11.
4. Гарькина, И.А. Эргатические транспортные системы: идентификация и управление / И.А.Гарькина, А.М.Данилов // Московское научное обозрение. – 2011. – №11 (15). – С.3–7.

References

1. Garkina, I.A. Quality management of the materials of special properties / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Control Sciences. – 2008. – №6. – P. 67–74.
2. Garkina, I.A. Cognitive modeling of composite materials for the synthesis of complex systems as / IA Garkina, A. Danilov, EV Korolev // Proceedings of the universities. Construction. – 2009. – № 3/4. – P.30–37.
3. Garkina, I.A. System methodology, identification systems and control theory: industrial and aerospace applications / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Lapshin, N.K. Yurkov // Proceedings of higher educational institutions. Volga region. Engineering. – 2009. – №1(9). – P.3–11.
4. Garkina, I.A. Ergatic transport systems: identification and management / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Moscow Scientific Review. – 2011. – № 11 (15). – P.3–7.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»*
Украина, 61002, г. Харьков-2,
ул. Фрунзе, 21.

Манойло Евгения Владимировна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Химическая техника
и промышленная экология»
E-mail: bublikova1@yandex.ru

Манойло Юрий Александрович,
кандидат технических наук, ассистент
кафедры «Химическая техника
и промышленная экология»

Моисеев Виктор Федорович,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Химическая техника
и промышленная экология»
Тел.: (057) 7076392

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

Камбург Владимир Григорьевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Прикладная математика
и информатика»
Тел.: (841) 2496152
E-mail: kamburg@rambler.ru

*National Technical University «Kharkiv
Polytechnic Institute»*
Ukraine, 61002, Kharkiv-2, 21, Frunze St.

Manoylo Eugeniy Vladimirovna,
Candidate of Science, Associate professor
of the department «Chemical engineering
and industrial ecology»
E-mail: bublikova1@yandex.ru

Manoylo Yuri Aleksandrovich,
Candidate of Science, Assistant Professor
of the department «Chemical engineering
and industrial ecology»

Moiseev Viktor Fedorovich,
Candidate of Science, Professor
of the department «Chemical engineering
and industrial ecology»
Tel.: (057) 7076392

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Kamburg Vladimir Grigoriyovich,
Doctor of Science, Professor, Head
of the Department «Applied Mathematics
and Computer Science»
Tel.: (841) 2496152
E-mail: kamburg@rambler.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ СОДОВОГО ПРОИЗВОДСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Е.В. Манойло, Ю.А. Манойло, В.Г. Камбург, В.Ф. Моисеев

Рассмотрены вопросы применения отходов содового производства для промышленного получения мелиоранта, комплексной минеральной добавки и сухой строительной шпатлевки; обозначены предпосылки для поиска рациональных путей использования отходов для получения указанных продуктов.

Ключевые слова: отходы производства, строительная шпатлевка, мелиорант.

USE OF SODA PRODUCTION WASTES IN BUILDING INDUSTRY

E.V. Manoilo, Y.A. Manoylo, V.G. Kamburg, V.F. Moiseev

The article is about application of soda production wastes for industrial production of meliorant, complex mineral addition and dry building putty conditions for finding rational ways of wastes utilization for production of the mentioned indicated products.

Keywords: wastes of soda production, dry build putty, utilization, meliorant.

Введение. Практически в любом производственном цикле химической промышленности из-за ряда факторов, чаще всего в связи с несоответствием показателей качества требуемым, появляются вещества, дальнейшее применение которых в данной технологии не представляется возможным, – отходы. Количество этих веществ во многом определяет не только производственную культуру и экологическую безопасность, но и существенным образом сказывается на экономическом благополучии как самого предприятия, так и отрасли, к которой оно относится. Это влияние заключается в необходимости отнесения затрат на добычу и первичную переработку сырьевых

материалов, которые отбраковываются, на себестоимость продукции. В результате возникает ситуация, при которой стоимость готовой продукции формируется еще и за счет тех составляющих (сырья и энергии), которые фактически не участвовали в ее получении. Впоследствии продукция таких производств с трудом дотягивает до современных требований экологической производственной безопасности и вызывает сложности в конкуренции с соответствующими аналогами, не имеющими данных проблем [1-5]. Обозначенные выше проблемы актуальны на крупнотоннажных производствах, в том числе на содовых заводах. На примере последних рассмотрим вопросы, касающиеся рационального использования отходов, не представляющих ценности для технологии производства кальцинированной соды – одного из основных продуктов химической отрасли.

Основные характеристики отходов содовой технологии. Кальцинированная сода – традиционный продукт, имеющий многолетнюю историю как производства, так и использования во многих отраслях. Производственная практика свидетельствует о том, что основными потребителями соды являются химическая, нефтехимическая, металлургическая, целлюлозно-бумажная и другие крупные отрасли промышленности. В химической промышленности она применяется для производства каустической соды реакционными способами, гидрокарбоната натрия, соединений хрома, сульфитов и фторитов, фосфатов, нитрата натрия, натриевой селитры, а также для производства прокатных стекол светотехники, силикатной глыбы, хрусталя и др. В состав всех этих продуктов и изделий сода входит в виде соединения Na_2O . На рис. 1 приведены основные направления применения соды.

Массово карбонат натрия применяется в цветной металлургии при производстве глинозема из бокситов спеканием криолита, при переработке свинцово-цинковых, кобальтотоникелевых, а также вольфрамомолибденовых руд. Значительное количество кальцинированной соды потребляет целлюлозно-бумажное производство (при проклейке бумаги, картона, а главным образом, при варке целлюлозы). Сода нашла широкое применение в нефтехимической и нефтеперерабатывающей отраслях, при производстве синтетических жирных кислот, моющих средств, а также при переработке нефти. Применение кальцинированной соды наряду с другими компонентами при прохождении нефтяных скважин позволяет укрепить их стенки и предупредить обвалы, тем самым предотвратить потерю бурового оборудования.

С учетом крупнотоннажности отраслей-потребителей и постоянно растущего на нее спроса, следует заострить внимание на тех отходах, которые имеют место при производстве этого продукта. Среди них наибольший удельный вес составляет природный мел (до 85 % в шламе рассолоочистки, до 60 % в шламе дистиллированной суспензии). Кроме того, мел – самый массовый отход (до 35 % – мелких отходов); хлорид натрия (до 20 % в шламе рассолоочистки); хлорид кальция (до 12 % шлама дистиллированной суспензии).

Проблема массовости отходов имеет не только экологические корни, хотя и это придает рассматриваемой теме наиболее актуальное значение. Здесь же речь идет не только о рациональном использовании полезных ископаемых, но и, в первую очередь, о целесообразном использовании энергии, которая расходуется для добычи и доведения сырьевых материалов до стадии готовой продукции.

Сырьем для получения кальцинированной соды являются вещества, которые содержат ионы Na^+ и CO_3^{2-} . Чаще всего в качестве сырьевых материалов применяют для Na^+ – хлорид натрия; источником CO_3^{2-} является мел. Добыча мела осуществляется методом открытой разработки на меловом карьере. Вдоль пролегания пластов нарезают несколько горизонтов (уступов), в которых бурят небольшие цилиндрические отверстия – шпурсы. Далее, по технологии добычи мела, в проделанные шпурсы закладывают взрывчатку, которую детонируют. Породу, раздробленную взрывом, грузят в вагонетки и направляют на дробильно-сортировочную фабрику, где происходит измельчение крупных кусков мела с последующей классификацией по размеру. Куски с размером 30...150 мм направляются в известковый цех на обжиг.

Общее количество отходов после дробильно-сортировочной фабрики составляет 300...400 кг с 1 000 кг добытого мела.



Рис. 1. Применение кальцинированной соды в промышленности

Следует заметить, что, несмотря на распространенность мела и его химическую нейтральность (следовательно – дешевизну и экологическую безопасность), утилизация данного вида твердого отхода является актуальной проблемой современной действительности содового производства. Это связано, прежде всего, с крупнотоннажностью выработок и теми энергетическими расходами, которые имели место при добыче. При простом складировании данного отхода предприятие не только лишает себя части прибыли от возможного использования меловой крошки как сырья для альтернативных продуктов, но и вынуждено использовать значительные площади для организации его безопасного складирования, как правило, в силосах.

Производство мелиоранта и комплексной минеральной добавки

Наша страна известна мировому сообществу большим количеством земель сельскохозяйственного назначения – в Украине сконцентрирован один из наибольших запасов чернозема. Поэтому существует потребность всестороннего исследования вопросов, связанных с использованием отходов производства кальцинированной соды в аграрной сфере.

Мелиорант представляет собой мелкодисперсный порошок сероватого цвета, предназначенный для химической мелиорации (окультуривания и повышения плодородности) кислых и щелочных почв. Результаты количественного и качественного анализа продукта представлены на рис. 2. Химический состав мелиоранта позволяет нормализовать кислотно-щелочной баланс почв, тем самым повысить их плодородность. Результаты исследований специализированного сельскохозяйственного института свидетельствуют, что мелиорант, полученный из отходов производства кальцинированной соды (вторичных карбонатных продуктов), по собственной эффективности не только не уступает известковой пыли, дефекату, гипсу, мелу, но и часто превышает их по качеству.

Данное явление может быть объяснено более высокой активностью ионов кальция в твердой фазе дистиллерной жидкости (основного сырья). Относительно функциональности компонентов в смеси, следует отметить, что наличие карбонатов кальция и магния в составе этого минерального комплекса способствует насыщению кислотных почв ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} , что формирует благоприятный pH. Наличие в смеси хлорида кальция и его свойство насыщаться жидкостью способствует предупреждению образования гудок в мелиоративных грунтах, а при диссоциации на ионы – насыщает почву как Ca^{2+} , так и Cl^- . Аналогично хлорид натрия применяется для нормализации

ции кислых почв, насыщая их Na^+ . Значительная концентрация оксида кальция способствует снижению скорости развития микроорганизмов в грунтах, то есть способствует антисептической защите почв. По данным гранулометрического анализа мелиоранта, средний размер частиц в помоле составляет 150 мкм.

Одним из направлений утилизации отходов производства соды является изготовление кормовой добавки для сельскохозяйственных животных, основу химического состава которой (рис. 3) также составляют известковые материалы. Данный продукт, полученный из отходов содового производства, с успехом заменяет мел в рационе сельскохозяйственной птицы и животных.

По химическому составу комплексная минеральная добавка отличается от мелиоранта большей концентрацией карбоната кальция. Этот ингредиент способствует как укреплению костных тканей, так и росту мышечной массы животных; а хлориды необходимы в водно-солевом обмене веществ. Кроме того, в данном случае функциональность хлорида кальция несколько другая, чем в случае с мелиорантом, – наличие данного компонента повышает иммунитет, способствует более быстрому заживлению ран. Средний размер частиц помола комплексной минеральной добавки составляет 250 мкм.

Оборудование для производства мелиоранта и комплексной минеральной добавки – идентичное. На рис. 4 приведена принципиальная технологическая схема подготовки отходов производства кальцинированной соды к утилизации.

Дистиллерная жидкость 1 подается в бункер Б1, где происходит процесс частичного разделения твердой и жидкой фаз осаждением. Осветленная жидкость 2, содержащая значительное количество CaCl_2 поступает в цикл производства хлорида кальция, а твердая фаза, через промежуточный бункер-отстойник, – на фильтр-пресс ФП, откуда с влажностью 30...35 % – на упаковку в герметические промышленные пакеты. Жидкая фаза 3, отделившаяся при фильтровании в ФП, через бункер Б3 – возвращается на производство соды.

Производство сухой строительной шпаклевки

Прогресс и развитие индустрии в последние годы насыщает рынок строительных материалов новыми продуктами, призванными во многом улучшить работы по созданию новых и реконструкции уже существующих объектов недвижимого имущества. Особенное внимание следует уделить такому виду строительных материалов, как шпаклевки. Под шпаклевками (шпатлевками) принято понимать пастообразные материалы, применяющиеся для выравнивания поверхностей перед нанесением на них краски или других материалов. Основное назначение шпаклевки – устранение дефектов поверхности, ее выравнивание, исправление планиметрии.

Классификация шпаклевок представлена на рис. 5. Приведенная схема позволяет в полном объеме получить представление об ассортименте шпаклевок на рынке строительных материалов.

Для получения в конце производственного цикла результата, который удовлетворит как производителя, так и потребителя, готовый продукт должен быть максимально сбалансированным в качественно-стоимостном отношении и отвечать ряду нижеприведенных требований:

- шпаклевка должна иметь высокую адгезию для предотвращения отслоения участков покрытия от несущей поверхности;
- приготовленная шпаклевка должна быть однородной смесью (не иметь неоднородных включений, негативно отражающихся на качестве покрытия);
- паста должна иметь длительную жизнеспособность (время, в течение которого смесь пригодна к использованию), в то же время иметь необходимо малое время схватывания;
- покрытие должно быть ровным и гладким, механически крепким, не иметь видимых и скрытых дефектов;
- покрытие должно быть влагостойким (противодействовать набору избыточной влажности) и атмосферостойким (не изменять свою структуру при влиянии атмосферных факторов);
- покрытие должно быть безопасным, не вызывать осложнений у аллергиков и людей, страдающих заболеваниями дыхательных путей.

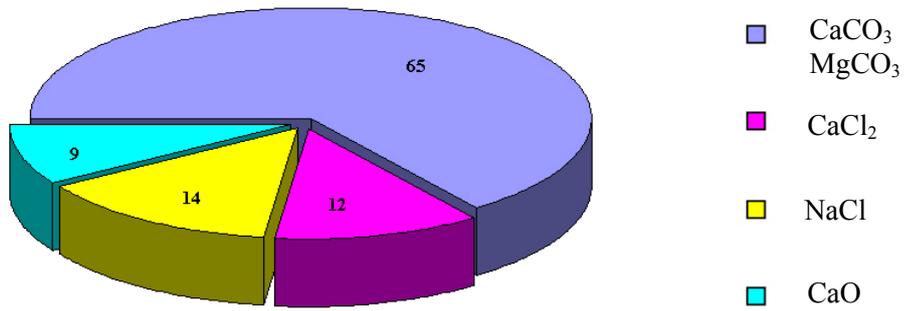


Рис. 2. Результаты анализов мелиоранта

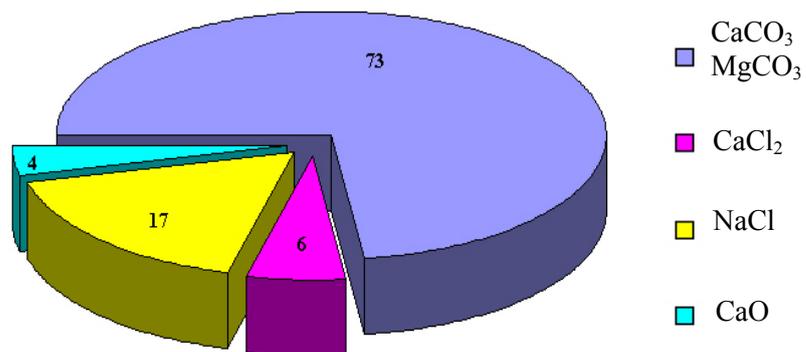


Рис. 3. Результаты анализов комплексной минеральной добавки

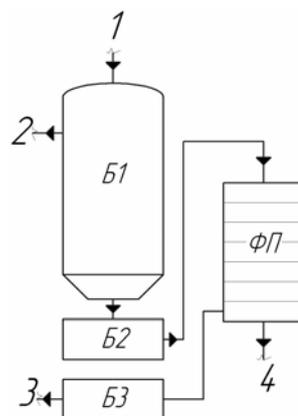


Рис. 4. Принципиальная схема первичной утилизации

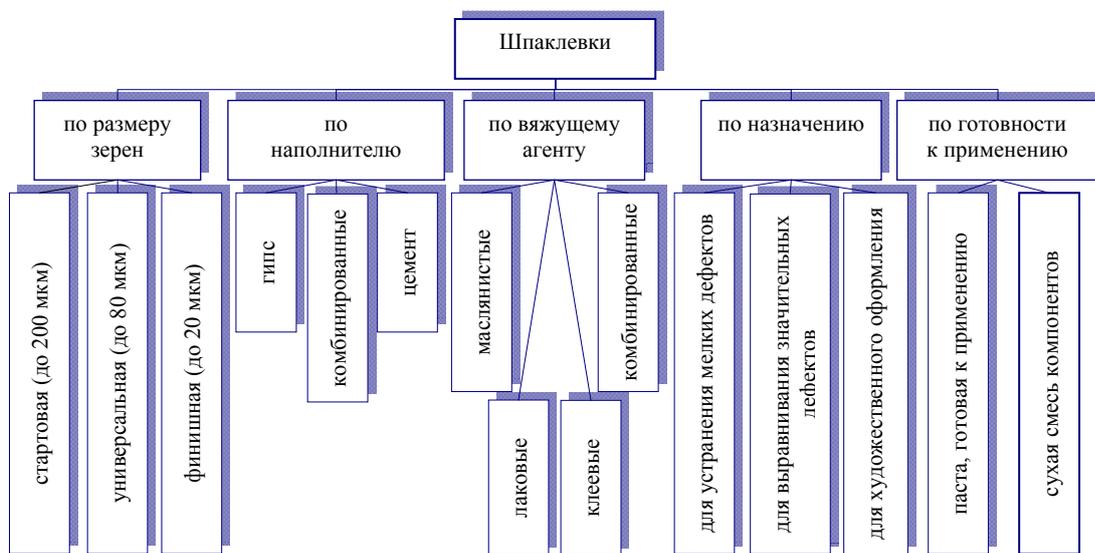


Рис. 5. Классификация шпаклевок

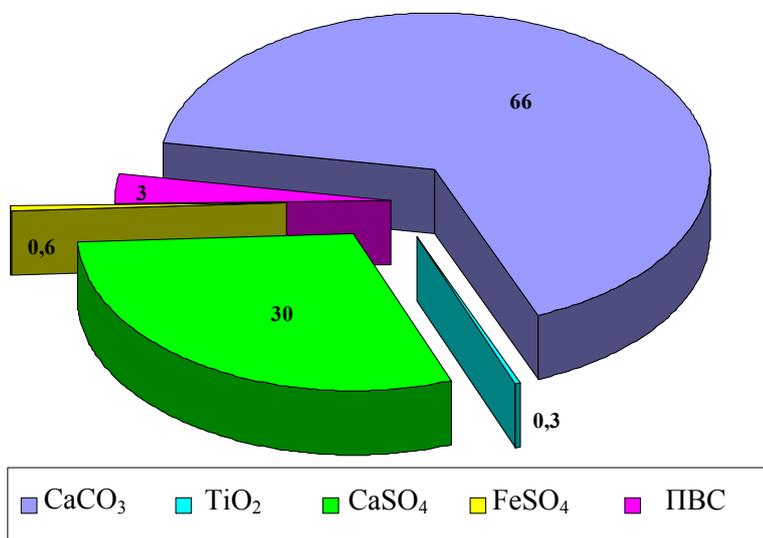


Рис. 6. Результаты анализа шпатлевки

Только при соблюдении всех перечисленных выше норм качества готовый продукт будет способен не только удовлетворить потребности потребителя, но и гарантировать производителю создание позитивного имиджа его торговой марки, а в итоге привести к постоянному приросту объемов продаж данной продукции.

Первичный анализ показал, что шпатлевка – порошок белого цвета, хорошей рассыпчатости, без запаха, тонкодисперсного помола, без явной неоднородности и без включений как гранулометрического, так и цветового характера. Более основательные исследования образца, в частности гранулометрический анализ, показали, что в помоле компонентов явно доминирует фракция с размером частиц 0,5 мкм (удельный вес частей данной фракции составляет 14,89 %).

Далее исследуемый образец подвергался качественному и количественному анализу. Диаграмма на рис. 6 наглядно демонстрирует соотношение между концентрациями компонентов в исследуемой смеси.

Вопросам рационализации производства строительных материалов в последнее время уделяется много внимания. Это связано с желанием производителей уменьшить энергетические затраты, как одного из наиболее весомых факторов себестоимости, и установить на свою продукцию более привлекательную цену.

Проведенный качественный анализ показал присутствие в исследуемом образце следующих составляющих. Природный мел (карбонатный наполнитель CaCO_3) – наиболее дешевый и доступный из всех присутствующих компонентов. Его дешевизна и подобие по физическим функциям гипсу – вяжущему агенту – дает возможность за счет увеличения его удельного веса получить больший выход продукта и снизить себестоимость. В данном случае мел выполняет функции основы, на которой образуется структура покрытия.

Сульфат кальция (CaSO_4) – собственно вяжущий агент. Взаимодействуя с водой, он образует кристаллогидраты $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$. По физической природе CaSO_4 плохо растворим в воде. Известно, что при температуре 20 °С в 100 граммах воды может раствориться только 0,2036 грамма сульфата кальция. Таким образом, основываясь на том, что более чем 96 % компонентов шпаклевки или не набирают избыточной влажности, или при высыхании легко от нее избавляются, мы имеем возможность подтвердить влагостойкие и атмосферостойкие показатели.

Оксид титана (TiO_2) – широко применяемый в промышленности пигмент. По физическим свойствам – мелкодисперсный порошок белого цвета. TiO_2 придает шпаклевке ярко-белый цвет.

Сернокислое железо (FeSO_4) применяется в промышленности как консервант поверхностей. При взаимодействии с водой образует микрокристаллы бледно-зеленого цвета $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – железного купороса. Хорошо растворим в воде. При температуре 20°С в 100 граммах воды может раствориться 26,6 грамма сульфата железа. Кристаллы железного купороса закупоривают поры, которые образовались при испарении воды, способствуя повышению влаго-, атмосферостойких и санитарных показателей.

Поливиниловый спирт (ПВС $[-\text{CH}_2 - \text{CH}(\text{OH}) -]_n$) – собственно клеевой агент смеси компонентов. По физическим свойствам ПВС – твердый полимер белого цвета; до 68 % находится в микрокристаллической форме. Нетоксичный. Единственный растворитель данного вещества – вода. При растворении образует полимерные пленки, которые, в нашем случае, соединяют компоненты смеси, делая покрытие цельным и механически крепким. Благодаря таким свойствам данного вещества обеспечиваются качественные требования к шпатлевке – адгезионные и механические.

Таким образом, рассмотрение результатов количественных и качественных анализов строительной шпатлевки дают возможность говорить об использовании в качестве сырьевой базы для её промышленного выпуска отходов производства кальцинированной соды.

Наличие в отходах содового производства хлорид-ионов не будет негативно влиять на качество получаемой шпатлевки. Наоборот, наряду с оксидом кальция, хлориды в

составе сырья придадут готовому продукту повышенные антибактериальные свойства, что в значительной степени повысит санитарные показатели качества продукции.

Выводы

Проблема утилизации промышленных отходов химических производств всегда была актуальна. Пути решения данных вопросов разнообразны и каждый из них заслуживает внимания и всестороннего изучения. Только при детальном подходе к рассматриваемой теме есть вероятность получения позитивного результата – сокращения расходов на производство готовой продукции путем извлечения экономической выгоды от реализации скрытых возможностей отходов (для содового производства – применение отходов в качестве сырья для получения альтернативных продуктов: мелиоранта, комплексной минеральной добавки и сухой строительной шпатлевки). Получение из промышленных отходов содового производства сухой строительной шпатлевки является одним из эффективных путей их утилизации и использования в виде высококачественного строительного материала.

Список литературы

1. Здрібнювання матеріалів у хімічній промисловості: Матеріали IV Міжнародної наукової конференції Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних проблем екологічної безпеки 2005 р. – Чернівці: Зелена Буковина, 2005. – С. 85–90.
2. Теорія здрібнення: енергетичні витрати: Матеріали VI Міжнародної наукової конференції Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних проблем екологічної безпеки 2007 р. – Чернівці: Зелена Буковина, 2007. – С. 116–123.
3. Манойло, Ю.А. Сухие строительные шпатлевки. К вопросу о рецептуре и технологии производства / Ю.А. Манойло, В.Ф. Моисеев, П.В. Шаповрев // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2006. – № 6/1 (24). – С. 23–27.
4. Ткач, Г.А. Производство соды по малоотходной технологии / Г.А. Ткач, В.П. Шаповрев, В.М. Титов. – Харьков: ХГПУ, 1998. – 429 с.
5. Камбург, В.Г. К вопросу эколого-экономической оценки процессов и технологий промышленных производств / В.Г. Камбург // Вестник Технологического университета Подолье. Сер. 1. Экономические науки. – 1997. – №2. – С. 131–134.

References

1. Grinding of materials in chemical industry: the IV Mizhnarodnnoyi Conference Youth in addressing regional and transboundary issues of environmental safety 2005. – Chernivtsi: Green Bukovina, 2005. – P. 85–90.
2. Theory of energy costs fining: Materials VI Mizhnarodnnoyi Youth Conference in addressing regional and transboundary issues of environmental safety 2007. – Chernivtsi: Green Bukovina, 2007. – P. 116–123.
3. Manojlo, J.A. Dry and Construction shpatlevky. The issue of formulation and production technology / Y.A. Manojlo, V.F. Moiseev, P. Shaporev // East European journal of advanced technologies. – 2006. – № 6 / 1 (24). – P. 23–27.
4. Tkach, G.A. Production of soda according to little waster technologies / G.A. Tkach, V.P. Shaporev, V.N. Titov – Harkov: HNPU, 1998. – 429 p.
5. Kamburh, V.G. The issue of the ecological-economic processes assessing and technologies of industrial production. / Journal Podillya for technological University. August 1 – Economic Science. – 1997. – № 2. – P. 131–134.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Фокин Георгий Александрович,
доктор технических наук,
профессор кафедры «Физика»
Тел.: (8412) 40-53-07, 8-961-35-15-846.
E-mail: fokingeorg@mail.ru

Фолимагина Ольга Васильевна,
аспирант кафедры «Физика»
Тел.: 8-950-23-25-475.
E-mail: folim1@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Fokin Georgy Alexandrovich,
Doctor of Sciences,
Professor of the department «Physics»
E-mail: fokingeorg@mail.ru

Folimagina Olga Vasilevna,
Postgraduate of the department «Physics»
Tel.: 8-950-23-25-475.
E-mail: folim1@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО ПУТЕМ АКТИВАЦИИ ВОДЫ ЗАТВОРЕНИЯ ВИХРЕДИНАМИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

Г.А. Фокин, О.В. Фолимагина

Рассмотрены теоретические основы использования для активации воды вихревых и динамических полей. Экспериментально установлено, что применение активированной воды повышает эффективность материалов на основе гипса.

Ключевые слова: активированная вода затворения, воздействие вихрединамического поля, материалы на основе гипса.

EFFICIENCY INCREASE OF MATERIALS ON THE BASIS OF GYPSUM CEMENT BY VORTICAL AND DYNAMIC FIELD ACTIVATION OF MIXING WATER

G.A. Fokin, O.V. Folimagina

Theoretical bases of vortical and dynamic field use for activation of water are considered. It is established, that application of activated water raises efficiency of materials on the basis of plaster.

Keywords: activated mixing water, influence of vortical and dynamic field, materials on the basis of gypsum cement.

Широкое применение в строительстве нашли гипсовые материалы нового поколения, при изготовлении которых используются местные промышленные отходы и природные материалы. Для получения эффективных изделий используют различные физические и химические методы активации поверхности твердых фаз, являющиеся компонентами вяжущих. Однако в строительстве практически не используются технологии получения гипсовых изделий на основе активированных воды и растворов.

Целью настоящей работы является изложение теоретического обоснования активации воды затворения вихрединамическим полем (ударное воздействие в переменном магнитном поле); экспериментальное подтверждение возможности улучшения свойств материалов на основе строительного гипса путем использования активированной воды затворения.

Для осуществления активации вихрединамическим полем (ВДП) нами была создана установка с крестообразным ротором, возбуждающим переменное магнитное поле индукцией 0.1 Тл, работающее в диапазоне 2 000–11 000 об/мин. В качестве объекта воздействия использовали воду из хозяйственно-питьевого водопровода, удовлетворяющую требованию ГОСТ 2874–82 «Вода питьевая».

Для активации ротор помещают в центр аксиально-симметричного сосуда с водой. Чтобы избежать нежелательных последствий (нарушение целостности сосуда, разбрызгивание воды), следует закрепить сосуд на неподвижном основании и плотно закрыть его крышкой. Затем ротор приводится во вращение.

Замер величины активности ионов водорода в воде с их записью и выводом на экран проводился с помощью датчика рН, входящего в программно-аппаратный комплекс L-micro. Определение размеров частиц гипса в суспензии проводилось с помощью седиментационного анализа (основан на наблюдениях за скоростью оседания (седиментацией) частиц под действием силы тяжести [1]). Определение размеров частиц в гипсовой суспензии проводилось для двух суспензий, содержащих 4 г гипса строительного и 100 мл водопроводной воды и воды, предварительно обработанной в течение 20 мин ВДП. Определение предела прочности на сжатие производилось в соответствии с ГОСТ 23789–79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний». Для исследования влияния воды, обработанной ВДП, образцы гипсового теста нормальной плотности затворяли активированной и водопроводной водой.

Отдельные области рассматриваемой жидкости затворения имеют различные термодинамические вероятности состояния, т.е. различные значения энтропии ($S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$) [2], в то время как с макроскопической точки зрения система находится в состоянии термодинамического равновесия. Процессы, происходящие при формировании структуры, относятся к отдельным микрообластям, поэтому оптимальным вариантом является условие, при котором $S_1 = S_2 = S_3 = \dots = S_n$, т.е. термодинамическая вероятность состояния системы W должна быть равна единице, откуда мы получим $S = \ln W = 0$. Это состояние абсолютно упорядоченной системы, у которой энтропия имеет минимальное значение.

Равенство значений энтропии для отдельных областей воды затворения приводит к тому, что происходящие в них при взаимодействии с вяжущим физико-химические процессы протекают с одинаковой скоростью [3], т.е. полученный в результате продукт реакции является в большей степени однородным.

При обработке ВДП воды и растворов на процессы перехода в состояние с наименьшим значением энтропии необходимо время. В рассматриваемом случае (жидкость вращается в сосуде под действием динамической компоненты ВДП) интересно состояние жидкости с наименьшей энергией. Для вращения системы с заданным моментом импульса кинетическая энергия минимальна в том случае, когда, проводя аналогию с твердым телом, угловая скорость вращения ω постоянна для всей жидкости.

Чтобы при заданной угловой скорости получить состояние системы с более низкой энергией, необходимо исследовать поле скоростей.

Пусть вся масса жидкости движется со скоростью \mathbf{V} . Зависимость поля скоростей $\mathbf{V}(R)$ от координаты R определяется функцией $\theta(R)$ согласно соотношению

$$\mathbf{V}(R) = \frac{\hbar}{m} \nabla \theta(R),$$

где \hbar – приведенная постоянная Планка; m – масса молекулы воды.

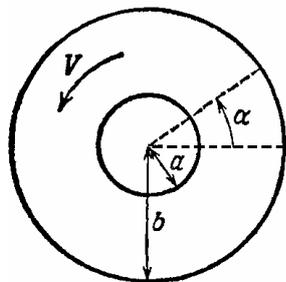


Рис. 1. Циркуляция вектора \mathbf{V} в двусвязной системе

Отсюда следует, что $\nabla \times \mathbf{V}(R) = 0$, так что движение в односвязной системе является безвихревым. Для такой модели движения энергия вращающейся жидкости оказывается в 10^4 – 10^6 раз больше энергии твердого тела, вращающегося с той же скоростью. Поэтому такая модель не подходит.

Если же жидкость образует вокруг полости вихрь (как это показано на рис. 1), т.е. система является двусвязной, то циркуляция вектора \mathbf{V} в системе может не равняться нулю. Положим $\theta = k\alpha$.

При таком выборе θ скорость $\mathbf{V}(R)$ перпендикулярна радиусу, а ее величина равна $|\mathbf{V}| = \frac{\hbar k}{mr}$, причем k может принимать только целые значения $n = 1, 2, 3 \dots$ [4], тогда

$$\theta = n\alpha, \quad |\mathbf{V}| = \frac{\hbar}{mr} n, \quad \oint \mathbf{V} \cdot d\mathbf{S} = 2\pi \frac{\hbar}{m} n.$$

Таким образом, циркуляция вектора скорости отлична от нуля, при этом скорость изменяется обратно пропорционально радиусу, принимая столь большие значения вблизи центра вихря (если $r \rightarrow 0$, то $V \rightarrow \infty$), что возможно образование свободной от жидкости полости за счет центробежных сил, то есть поле скоростей терпит разрывы.

Вследствие существования разрывов скорости \mathbf{V} , можно получить состояние с более низкой энергией. Предположим, что в жидкости имеется не один вихрь в центре сосуда, а несколько вихрей. Например, кроме центрального, имеется еще некоторое число вихрей, расположенных по кругу радиусом $R/2$ (R – радиус всего сосуда), причем все эти вихри вращаются в одном направлении, как показано на рис. 2.

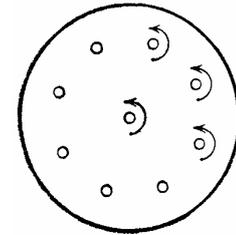


Рис. 2. Несколько вихрей, вращающихся в одном направлении

Если их число на расстоянии $R/2$ от центра достаточно велико, то такое состояние можно рассматривать как вихревую поверхность, на которой тангенциальная составляющая скорости может меняться скачком при переходе с внутренней стороны поверхности на внешнюю. Выигрыш в энергии, возникающий за счет более выгодного распределения скоростей, в этом случае может с избытком компенсировать дополнительное увеличение энергии, необходимое для создания новых полостей.

Продолжая увеличивать число вихрей, мы скоро обнаружим, что энергия системы всегда может быть уменьшена за счет образования большего числа вихрей. Однако существует определенный предел для роста их числа. В силу условия квантования вихрей наименьшее значение циркуляции для вихря равно $2\pi\hbar/m$. Поэтому энергия достигает наименьшего значения, когда во всей жидкости образуется большое число вихревых линий с наименьшим значением циркуляции (будем называть их «единичными вихревыми линиями»), распределенных с почти равномерной плотностью.

Найдем плотность вихревых линий, пользуясь теоремой Стокса:

$$\oint \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \iint (\nabla \times \mathbf{F}) \cdot d\mathbf{S},$$

То есть циркуляция векторного поля вдоль замкнутого контура равна потоку ротора (вихря) поля через поверхность, ограниченную этим контуром.

Поскольку ротор скорости равен циркуляции на единицу площади и равен 2ω , то согласно теореме Стокса получим:

$$2\omega \frac{m}{2\pi\hbar} = 400 \cdot 10^3 \text{ линий/см}^2, \quad (1)$$

где ω – скорость, рад/с. Для скорости $\omega = 200$ рад/с линии расположены на расстоянии примерно 0,004 мм друг от друга, так что распределение скорости является практически однородным.

Энергия, связанная с одной вихревой линией, определяется формулой

$$\rho_0 \pi \frac{\hbar^2}{m} \ln \left(\frac{b}{a} \right), \text{ где } \rho_0 \text{ – число молекул в } 1 \text{ см}^3 \text{ [5]. Примем } b = 0,004 \text{ мм и } a = 0,4 \text{ Е}$$

(так как вода – это классическая жидкость с поверхностным натяжением, то при образовании вихрей должна возникать полость, размер которой близок к межатомному

расстоянию), и, пользуясь формулой (1), для полной энергии вихревых линий на единицу объема получим:

$$\rho_0 \omega \hbar \ln \left(\frac{b}{a} \right) = 13 \rho_0 \omega \hbar.$$

Следовательно, полная энергия вихревых линий для вращающейся жидкости, толщина слоя которой в сосуде радиусом R равна единице, составляет $13 \rho_0 \omega \hbar \pi R^2$. Кинетическая энергия вращающегося твердого тела радиусом R и единичной толщины равна $\pi m \rho_0 R^2 \omega / 4$. Оценим отношение этих двух величин:

$$13 \cdot 4 \frac{\hbar}{m R^2 \omega} \approx 10^{-5}$$

(значение 10^{-5} получено при $R = 1$ см и $\omega = 200$ рад/с).

Таким образом, энергия в такой модели на несколько порядков ниже, чем в модели непрерывного поля скоростей. Для макроскопических образцов, используемых в лабораторных условиях, дополнительная энергия, идущая на образование вихрей, мала. Вихри возникают под действием динамической компоненты ВДП. При этом распределение угловой скорости будет незначительно отличаться от однородного.

Результаты эксперимента

Через 20 мин воздействия ВДП рН воды составило 8,1, тогда как начальное значение составляло 7,6. Дальнейшее воздействие не приводит к изменению числа ионов в воде. Повышение рН воды в результате воздействия ВДП свидетельствует о разрыве химических связей в молекуле воды.

Разрыв какой-либо химической связи в воде происходит с образованием двух молекулярных осколков.



Хотя вода в целом в химическом отношении инертна, наличие ионов H^+ и OH^- делает ее чрезвычайно активной. Распределение частиц по их размерам в суспензии гипса приведено в таблице (получено методом седиментационного анализа).

Размеры и содержание частиц в суспензии на основе водопроводной воды и воды, обработанной ВДП

Средний радиус частиц, мкм	3	7	9	11	13	15	17
Содержание частиц в воде, обработанной ВДП, %	18	9	10	19	44	-	-
Содержание частиц в водопроводной воде, %	22	7	10	14	15	16	16

В ходе исследований было установлено, что в суспензии, приготовленной на воде в активированном состоянии, фракции гипса с радиусом 14–18 мкм не обнаруживаются, в то время как увеличивается процентное содержание более мелких частиц. В сравнении с водопроводной водой в обработанной ВДП воде увеличение процентного содержания частиц со средним радиусом 7 мкм составляет $\approx 20\%$; со средним радиусом 11 мкм – 35 %, а частиц со средним радиусом 13 мкм – больше почти втрое. Анализ полученных данных свидетельствует о диспергировании частиц гипса в воде, подвергшейся воздействию ВДП.

При использовании для затворения гипса воды, активированной ВДП, число кристаллов в единице объема увеличивается, так же как и степень их срастания, а следовательно, увеличивается структурная прочность.

Полученные данные свидетельствуют о том, что активация воды ускоряет процессы твердения гипса. Максимальный эффект достигается после 20-минутной обработки воды затворения ВДП. Так, прочность при сжатии контрольного образца при $V/G = 0,7$ через 2 ч после контакта гипсового вяжущего с водой составляла 4,1 МПа, а образцов гипсового камня, приготовленных на воде затворения, предварительно обработанной в течение 20 мин ВДП, была равна 5,15 МПа. Таким образом, использование активированной воды приводит к увеличению прочности при сжатии на 25 %; при воздействии ВДП на гипсовое тесто прирост прочности образцов составляет до 40–50 %.

Выводы. Изложено теоретическое обоснование использования для активации воды вихревых и динамических полей. Определено оптимальное время активации воды затворения (20 мин).

Экспериментально подтверждена эффективность обработки воды вихрединамическим полем. Установлено, что при использовании воды, активированной ВДП для затворения гипсового вяжущего, интенсифицируются протекающие при твердении процессы гидратации и диспергирования частиц, повышается однородность материала, что способствует росту прочности.

Список литературы

1. Волков, В.А. Коллоидная химия / В.А. Волков. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2001. – 640 с.
2. Московский, С.Б. Курс статистической физики и термодинамики: учебник для вузов / С.Б. Московский. – М.: Академический Проект, Фонд «Мир», 2005. – 320 с.
3. Семиохин, И.А. Кинетика химических реакций / И.А. Семиохин, Б.В. Страхов. – М.: МГУ, 1995. – 351 с.
4. Ongaser L., Nuovo Cimento, 6, Suppl.2, 246 (1949).
5. Статистическая механика: курс лекций / Р. Фейнман; пер. с англ. Н.М. Плакида, Ю.Г. Рудой; под ред. Д.Н. Зубарева. – 2-е изд. – М.: Мир, 1978. – 402 с.

Referenses

1. Wolkov, V.A. Colloid chemistry / V.A. Wolkov. – M: MSTU of A. N. Kosygina, 2001. – 640 p.
2. Moscovsky, S. B. Course of statistical physics and thermodynamics: textbook for higher schools / S.B. Moscovsky. – M: the Academic Project, Fund «World», 2005. – 320 p.
3. Semiohin, I.A., Strakhov B.V. Kinetics of chemical reactions / I.A. Semiohin, B.V. Strakhov. – M: Moscow State University, 1995. – 351 p.
4. Ongaser, L. Nuovo Cimento, 6, Suppl.2, 246 (1949).
5. Statistic Mechanics: a set of lectures / R.P. Feynman (Benjamin, 1972).

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Демьянова Валентина Серафимовна,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Инженерная экология»
Тел.: 8-841-92-95-01
E-mail: ie@pguas.ru

Гусев Алексей Дмитриевич,
аспирант кафедры «Инженерная
экология»
Тел.: 8-841-92-95-01
E-mail: ie@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Demyanova Valentine Serafimovna,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the department «Engineering Ecology»,
Tel.: 8-841-92-95-01
E-mail: ie@pguas.ru

Gusev Alexey Dmitrievich,
Postgraduate of the department «Engineering
Ecology»
Tel.: 8-841-92-95-01
E-mail: ie@pguas.ru

ПОЛУЧЕНИЕ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ БЕТОНОВ РАЗЛИЧНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ*

В.С. Демьянова, А.Д. Гусев

Рассмотрены многокомпонентные дисперсно-армированные бетоны различного функционального назначения. Предложена рецептура и изучены физико-механические и эксплуатационные свойства сталефибробетонов, полученных с использованием техногенных образований и отходов.

Ключевые слова: дисперсное армирование, бетоны, модифицирующие добавки, состав, свойства, эффективность.

PRODUCTION OF FIBRE-REINFORCED CONCRETE FOR VARIOUS APPLICATIONS USING SECONDARY MATERIAL RESOURCES

V.S. Demyanova, A.D. Gusev

The authors consider multicomponent fibre-reinforced concrete for various applications. They have proposed concrete formulation and studied physical, mechanical and operational properties of steel-fibre-concrete using man-made structures.

Keywords: fibre-reinforced, concrete, builders, composition, properties, effectiveness.

Получение высококачественного бетона различного функционального назначения достигается модифицированием его структуры различными органическими и минеральными добавками. Модифицирующие добавки оказывают влияние на процессы гидратации и кристаллизации, морфологию новообразований и в целом на структуру затвердевшего цементного камня, изменяя тем самым свойства бетона. Актуальным направлением получения высококачественных цементных композиций, отличающихся широким спектром действия, является использование комплексных многокомпонентных добавок различного функционального назначения (КОМД). Многокомпонентность комплексных добавок и, как следствие, многокомпонентность бетонной

* Научно-техническая статья опубликована при поддержке гранта РФФИ (контракт №09-08-13580 офи_ц. от 14.10.09).

смеси позволяет эффективно управлять процессами структурообразования на всех этапах технологии приготовления бетона и создавать бетон с различными эксплуатационными свойствами. Комплексные органоминеральные добавки получают, объединяя в единую систему органический и минеральный компоненты, обладающие конкретным модифицирующим эффектом. Сегодня органоминеральные добавки выполняют роль компонента бетонной смеси и бетона, являясь его сырьевой составляющей. При этом требуемые технологические свойства бетонной смеси и эксплуатационные свойства бетона обеспечиваются как высокими функциональными свойствами самих компонентов, так и их комбинацией [1, 2].

Многокомпонентность современного высококачественного бетона требует системного подхода к выбору исходных составляющих для его приготовления. Такой подход реализуется путем экспертной оценки выбора модифицирующих добавок и использования системы критериальных показателей оценки эффективности их воздействия [3, 4].

Опираясь на концепцию «промышленного метаболизма», авторы занимались разработкой многокомпонентных дисперсно-армированных бетонов с использованием в качестве сырьевых компонентов отходов природного и техногенного происхождения [5]. При этом дисперсное армирование бетона производилось: 1) комплексными органоминеральными модификаторами, вводимыми в бетонную смесь совместно с цементным клинкером (уровень цементной матрицы – микроуровень); 2) отходами металлокорда в виде дисперсных волокон (уровень цементного бетона – макроуровень).

При разработке многокомпонентных дисперсно-армированных бетонов различного функционального назначения использовались водоредуцирующие органические добавки отечественного производства С-3 (хотя известны более эффективные высокоочищенные супер- и гиперпластификаторы на меламинаформальдегидной и поликарбоксилатной основе). В качестве дисперсных наполнителей приняты измельченные отходы добычи природных каменных материалов – песчаники месторождений Пензенской области, характеризующиеся высоким содержанием кремнеземистого компонента (85...90 %); армирующими элементами являлись продукты переработки изношенных автомобильных шин – металлокорд с различной степенью очистки.

Отходы автомобильного транспорта являются особенно агрессивными по отношению к окружающей среде. Так, например, изношенные автомобильные шины, накапливаясь в местах их эксплуатации (автохозяйства, промышленные предприятия и т.д.), длительное время загрязняют окружающую среду вследствие высокой стойкости к воздействию внешних факторов – солнечного света, кислорода, озона, микробиологических воздействий и пр.; места их скопления, особенно в регионах с жарким климатом, служат благоприятной средой обитания и размножения ряда грызунов и насекомых, являющихся разносчиками различных заболеваний. Кроме того, шины обладают высокой пожароопасностью, а продукты их неконтролируемого сжигания оказывают крайне вредное воздействие на окружающую среду (почва, вода, воздушный бассейн) и здоровье населения. При сжигании 1 т изношенных шин в атмосферу выделяется 270 кг сажи и 450 кг токсичных газов. Не случайно, Европейским Союзом с 2003 г. введен запрет на их сжигание. Вместе с тем изношенные шины являются источником ценного углеводородного сырья, лома легированной стали и текстильного материала в виде натуральных и синтетических волокон. Известно, что в современных покрышках содержится не менее 55...60 % резины, 20...25 % текстиля и 20...25 % металла. На одном из пензенских предприятий действует пилотная установка по переработке шин механическим способом. Именно этот способ обеспечивает высокое качество продуктов переработки. Присутствие резины для очищенного металлокорда не превышает 4...5 %.

При разработке многокомпонентных дисперсно-армированных бетонов различного функционального назначения предложены следующие направления использования металлокорда:

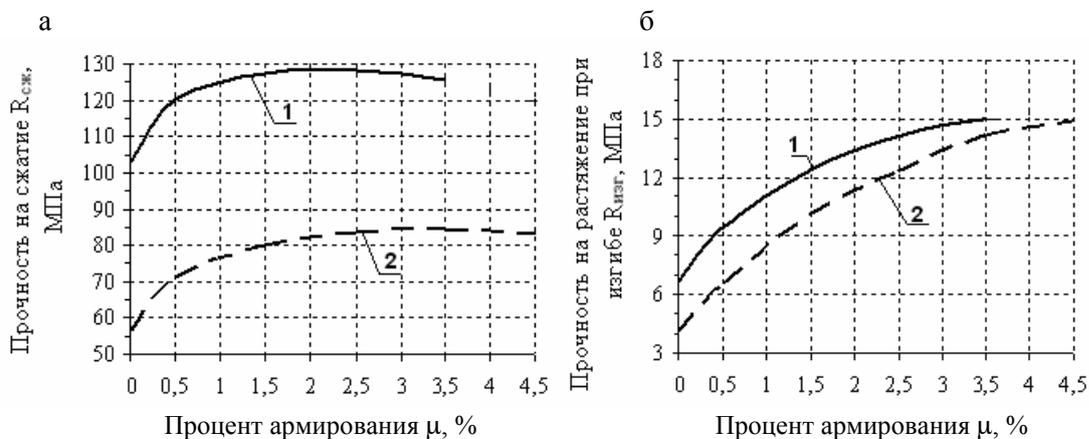
– в высокопрочных дисперсно-армированных щебеночных бетонах классов по прочности В80...В100, в том числе для «дорожных одежд»;

– в дисперсно-армированных мелкозернистых бетонах средних марок для устройства «плавающего пола» и цементной стяжки полов промышленных и гражданских зданий.

С целью выявления возможности рециклинга продуктов переработки автомобильных шин предварительно был выполнен анализ рынка автомобильных покрышек, используемых в России. Отмечено преимущественное применение автомобильных шин зарубежных производителей. Установлено, что качество металлокорда после выхода шины из эксплуатации соответствует стали марки 70-80 по ГОСТ 14959. Коэффициент износа, характеризующий остаточную прочность металлокорда, для шин различных производителей изменяется в пределах 8,1...11,0 %.

Высококачественный дисперсно-армированный бетон «дорожных одежд» получен при соотношении модифицирующих добавок (суперпластификатор С-3 и полимерный редиспергируемый латексный порошок PAV-29 на основе сополимеров винилацетата), равном С-3 : PAV-29 1:1. Дозировка дисперсного наполнителя не превышала 25 % от расхода цемента. В качестве армирующего волокна использована тонкая фибра из металлокорда диаметром 0,2 мм при длине 10 мм.

Как следует из рисунка, дисперсное армирование бетона волокнами из металлокорда в объеме от 0,5 до 3 % повышает прочность на сжатие на 15...20 %. Максимальная прочность 125...129 МПа дисперсно-армированного бетона на крупном заполнителе обеспечена при коэффициенте армирования 1,5...3,5 %. Прочность сталефибробетона на растяжение при изгибе закономерно повышается, если дозировка волокна увеличивается на 3,5 % и более. Дальнейшее увеличение дозировки армирующего волокна для получения щебеночного дисперсно-армированного бетона не целесообразно из-за сложности равномерного распределения волокон по объему бетонной смеси.



Прочность дисперсно-армированного бетона в зависимости от степени армирования:

а – прочность при сжатии; б – то же на растяжение при изгибе;

1 – сталефибробетон на крупном заполнителе; 2 – мелкозернистый сталефибробетон

Как известно, эффективность фибробетона повышается с переходом на мелкозернистые композиции. Для выполнения цементной стяжки полов промышленных и гражданских зданий, а также устройства конструкции «плавающего пола» из мелкозернистого бетона степень армирования металлокордом была повышена до 4,5...5 %, в зависимости от толщины пола.

Расчет экономической эффективности использования металлокорда взамен промышленной фибры для устройства цементной стяжки (табл.1) свидетельствует о технической и экономической целесообразности такой замены.

Технико-экономическая эффективность использования металлокорда для устройства промышленных полов (толщина пола 100 мм)

Показатели	Армирование металлокордом	Армирование промышленной фиброй	Традиционное армирование			
			Одинарная сетка из арматуры диам. 10 АIII		Одинарная сетка из арматуры диам. 12 АIII	
			Ячейка 200 × 200	Ячейка 150 × 150	Ячейка 200 × 200	Ячейка 150 × 150
Средний расход, кг/м ²	3	3	7	8	10	12
Цена, руб./кг	3,0...8,0	32,0...48,0	17,8		17,4	
Стоимость 1 м ² , руб.	9,0...24,0	96,0...144,0	124,6	142,4	174	208,8
Экономия на 1 м ² , руб.	-	87,0...120,0	100,6...115	118,4...133,4	150,0...165,0	184,8...199,8

Разработаны и оптимизированы составы дисперсно-армированного бетона различного функционального назначения. Выполнена оценка физико-механических и эксплуатационных свойств бетона (табл. 2).

Многоуровневое дисперсное армирование обеспечивает требуемые эксплуатационные свойства сталефибробетона, изготовленного на крупном заполнителе классов по прочности В80 и выше, и мелкозернистого дисперсно-армированного бетона средних марок, предназначенного для устройства различных видов полов. Выявлено значительное повышение прочности фибробетона в условиях динамических нагрузок; наибольшей ударной прочностью обладают щебеночный дисперсно-армированный бетон и мелкозернистый сталефибробетон при дозировке волокон из металлокорда 2,5 и 4,5 % соответственно. Показатель работы, затраченной на разрушение сталефибробетонов различного назначения, превышает этот показатель для неармированного бетона в 2 раза. Водопоглощение сталефибробетонов не превышает 1,3...1,9 %.

Т а б л и ц а 2

Физико-механические и эксплуатационные свойства дисперсно-армированных бетонов различного функционального назначения

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Величина показателя
1	Плотность	кг/м ³	2400...2700
2	Предел прочности при сжатии: – дисперсно-армированный бетон на крупном заполнителе – мелкозернистый сталефибробетон	МПа МПа	80...130 20...40
3	Прочность на растяжение при изгибе	МПа	8...15
4	Водопоглощение по массе	%	1,3...1,9
5	Истираемость	г/см ²	0,3...0,9
6	Работа разрушения бетона	Дж/см ³	20...35

Выполнение исследований, направленных на создание эффективных и конкурентоспособных дисперсно-армированных бетонов с использованием техногенных образований и отходов, способствует расширению материально-сырьевой базы и созданию нового высокотехнологичного производства в регионе. Деятельность в сфере обращения с отходами переработки изношенных автомобильных шин обеспечивает снижение экологической напряженности в регионе.

Список литературы

1. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М: АСВ, 2006. – 368 с.
2. Демьянова, В.С. Многокомпонентные высококачественные бетоны различного функционального назначения / В.С. Демьянова, В.И. Калашников, В.М. Тростянский. – Пенза: ПГУАС, 2006. – 131 с.
3. Демьянова, В.С. Системный подход при разработке многокомпонентных высокопрочных бетонов повышенной водостойкости / В.С. Демьянова, В.И. Калашников, И.Е. Ильина // Изв. Вузов. Строительство. – 2005. – №10. – С.28–33.
4. Демьянова, В.С. Экспертная оценка влияния модифицирующих добавок на свойства цементного камня / В.С. Демьянова, В.И. Логанина, И.Е. Ильина // Актуальные вопросы строительства: материалы Междунар. НТК. – Саранск: МГУ им. Н.П. Огарева, 2005. – С. 68–72.
5. Демьянова, В.С. Комплексное использование промышленных отходов / В.С. Демьянова // Экология и промышленность России. – 2008. – №1. – С.12–14.

References

1. Bazhenov, Y.M. Modified high-quality concrete / Y.M. Bazhenov, V.S. Demyanova, V.I. Kalashnikov. – M: The ACB, 2006. – 368 p.
2. Demyanova, V.S. Multi-component high-quality concrete for various applications / V.S. Demyanova, V.I. Kalashnikov, V.M. Trostyanskiy. – Penza: PGUAS, 2006. – 131 p.
3. Demyanova, V.S. Systematic approach in developing of multi-high-strength concrete increased water resistance / V.S. Demyanova, V.I. Kalashnikov, I.E. Ilyina // Izvestiya VUZ. Building. – 2005. – № 10. – P. 28–33.
4. Demyanova, V.S. Expert evaluation of the influence of modifying additives on the properties of cement stone / V.S. Demyanova, V.I. Loganina, I.E. Ilyin // Actual construction issues: Proceedings of the International STC. – Saransk: Moscow State University. NP Ogarev, 2005. – P. 68–72.
5. Demyanova, V.S. Integrated use of industrial wastes / V.S. Demyanova // Ecology and industry in Russia. – 2008. – № 1. – P.12–14.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 691-022.312

*Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева*

Россия, 430006, г. Саранск,
ул. Большевикская, 68,
тел./факс: (8342) 47-71-56

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

Селяев Павел Владимирович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: ntorm80@mail.ru

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

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

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

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

Selyaev Pavel Vladimirovich,
Candidat of Science, Associate professor
of the department «Building designs»
E-mail: ntorm80@mail.ru

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

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ КОЛОНН

В.П. Селяев, П.В. Селяев, Е.В. Сорокин

Рассмотрены результаты исследования влияния изменчивости расчетных параметров на надежность железобетонных внецентренно сжатых колонн. Представлена методика определения степени влияния статистической изменчивости расчетных параметров на обеспеченность несущей способности.

Ключевые слова: надежность, долговечность, численный метод, статистическая изменчивость, внецентренное сжатие.

EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE ECCENTRICALLY COMPRESSED COLUMNS RELIABILITY

V.P. Seljaev, P.V. Seljaev, E.V. Sorokin

Influence of variability of settlement parameters on reliability of reinforced concrete eccentrically compressed columns is investigated. Technique of influence of settlement parameters statistical variability on security of bearing ability is offered.

Keywords: reliability, durability, statistical volatility, numerical methods, eccentric compression.

Метод предельных состояний является полувероятностным. Он не дает возможности оценить, как влияет статистическая изменчивость конструктивных параметров на надежность сжатых элементов. Под действием эксплуатационных факторов, как правило, ухудшаются прочностные характеристики бетона и арматуры, повышается разброс данных при измерении геометрических характеристик поперечного сечения железобетонных элементов.

Цель работы заключалась в оценке влияния статистической изменчивости расчетно-конструктивных параметров на надежность железобетонных внецентренно сжатых колонн.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: произвести статистический анализ расчетно-конструктивных параметров железобетонных колонн; составить комплекс программ для автоматизированного расчета надежности железобетонных внецентренно сжатых элементов; определить надежность железобетонной колонны при различных значениях коэффициентов вариации расчетно-конструктивных параметров; построить графики зависимости надежности железобетонной колонны от коэффициентов вариации расчетно-конструктивных параметров.

В процессе работы проведены экспериментальные исследования и статистический анализ расчетно-конструктивных параметров железобетонных колонн. Установлено, что они являются случайными величинами, распределенными по нормальному закону, с параметрами распределения, приведенными в таблице.

На основе метода статистических испытаний (метод Монте-Карло) составлен программный комплекс для автоматизированного расчета надежности железобетонных колонн. Блок-схема программы вероятностного расчета колонн представлена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема программы вероятностного расчета колонны

Параметры распределения случайных величин приведены в таблице.

№ п/п	Наименование расчетного параметра	Математическое ожидание	Стандартное отклонение	Коэф. вариации, %
1	Сопrotивление арматуры $R_{sc}=R_s$, МПа	461.65	43.866	9.50
2	Сопrotивление бетона сжатию R_b , МПа	14.08	1.90	13.50
3	Высота сечения колонны h , см	40.00	0.12	0.30
4	Ширина сечения колонны b , см	40.00	0.12	0.30
5	Расстояние от грани колонны до ц.т. арматуры a , см	4.00	0.04	1.00
6	Временная нагрузка v , кН	2.00	0.60	30.00
7	Постоянная нагрузка g , кН	5.00	0.50	10.00

При численном моделировании были приняты: интервал изменения коэффициентов вариации расчетно-конструктивных параметров от 3 до 15 %; коэффициент армирования сечения колонны $\mu=1$ %; число численных опытов 65000.

По результатам вычислений построены графики (рис. 2) зависимости надежности железобетонной колонны от коэффициентов вариации расчетно-конструктивных параметров.

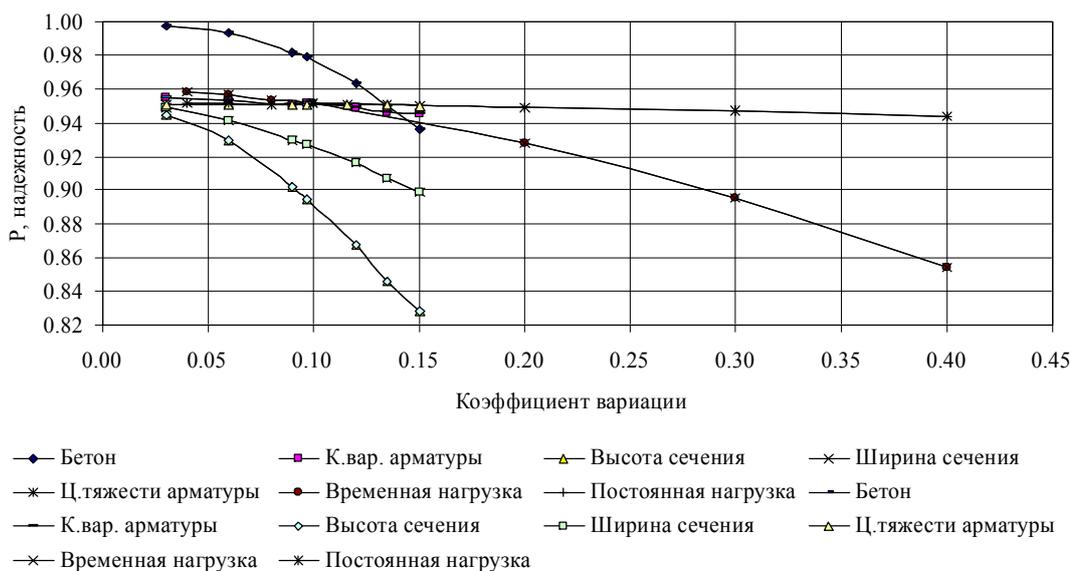


Рис. 2. Графики зависимости обеспеченности надежности по несущей способности от изменения коэффициентов вариации расчетных параметров

Анализ графиков, приведенных на рис. 2, показывает:

- Прочностные свойства бетона и арматуры как основных компонентов железобетонных конструкций в значительной степени влияют на надежность. Изменение коэффициента вариации прочности бетона в пределах от 3 до 13,5 % снижает обеспеченность надежности по несущей способности (ОННС) с 99,74 до 94,96 %, т.е. на 4,78 %.

- Изменение коэффициента вариации прочности арматуры в пределах от 0 до 9,7 % снижает ОННС с 95,44 до 95,12 %, т.е. на 0,32 %.

- Изменение коэффициента вариации прочности бетона в пределах 3–15 % оказывает большее влияние на надежность, чем изменчивость прочности арматуры.

- Увеличение коэффициента вариации для высоты поперечного сечения в пределах, указанных на рис. 2, понижает обеспеченность несущей способности с 94,47 до 82,86 %, т.е. на 11,61 %.

- Увеличение коэффициента вариации для ширины сечения в вышеуказанных пределах (0,03÷0,15) понижает обеспеченность несущей способности с 94,86 до 89,91 %, т.е. на 4,95 %.

- Отклонение всех геометрических размеров от проектных значительно влияет на обеспеченность надежности по несущей способности, изменчивость высоты сечения колонны в большей степени влияет на надежность, чем изменчивость ширины.

- Изменчивость расстояния от грани колонны до центра тяжести арматуры на надежность влияет незначительно. Изменение коэффициента вариации защитного слоя бетона в большую сторону в вышеуказанных пределах понижает обеспеченность несущей способности с 95,11 до 94,97 %, т.е. на 0,14 %.

В соответствии со СНиП 2.01.07–85* «Нагрузки и воздействия» коэффициент вариации для временной нагрузки в численном эксперименте варьировали в пределах от 10 до 30 %.

Установлено, что надежность при изменении коэффициента вариации для временной нагрузки от 10 до 30 % уменьшается с 95,12 до 89,56 %, т.е. на 5,56 %.

Коэффициент вариации для постоянной нагрузки варьировали в интервале от 4 до 40 %.

Проведенные статистические испытания показали, что обеспеченность несущей способности при изменении коэффициента вариации для постоянной нагрузки от 0 до 10 % (значение, указанное в СНиП 2.01.07–85* «Нагрузки и воздействия») уменьшается с 95,16 до 95,12 %, т.е. на 0,04 %.

Из анализа графиков (см. рис. 2, 3) следует, что изменение коэффициента вариации для временной нагрузки в большей степени оказывает влияние на надежность, чем для постоянной нагрузки.

На рис. 3 представлены графики, полученные методом полиномиальной аппроксимации второго порядка для результатов статистических испытаний (см. рис. 2).

Из графиков, приведенных на рис. 3, видно, что кривые имеют вид квадратных парабол.

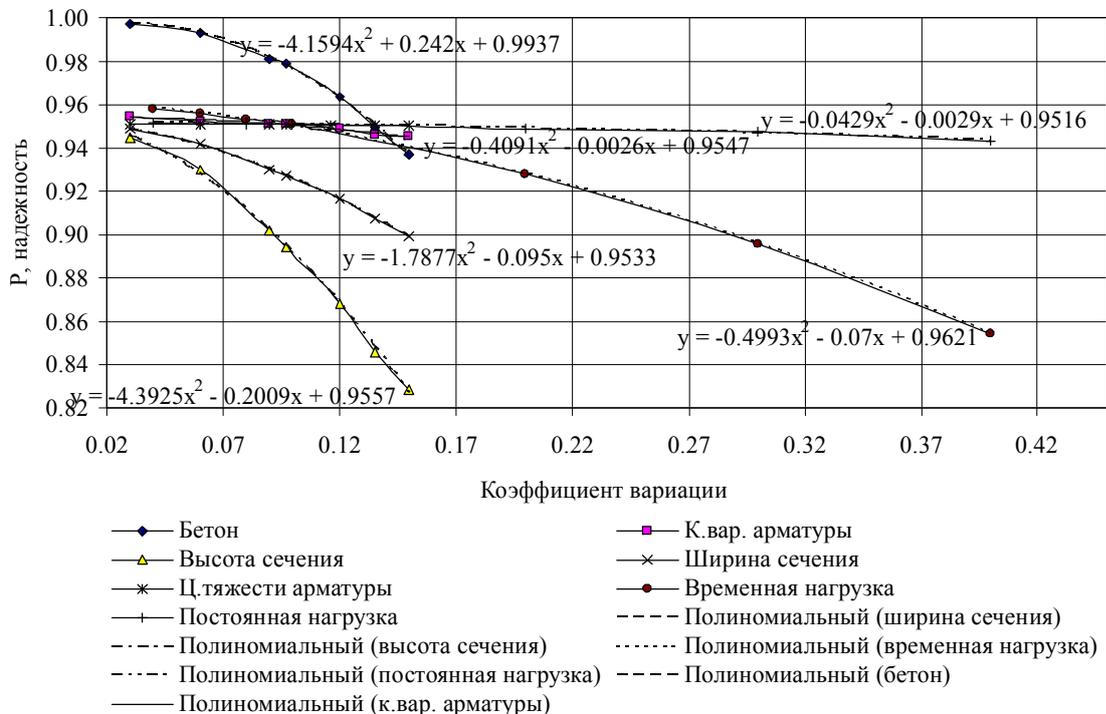


Рис. 3. Полиномиальная аппроксимация 2-й степени для изменения обеспеченности надежности по несущей способности в зависимости от изменения коэффициентов вариации расчетных параметров

Сравнив коэффициенты перед параметром x^2 , характеризующие крутизну параболы, можно определить, какой из расчетных параметров оказывает наибольшее влияние на надежность, – это изменчивость высоты сечения. Примем 4,393 за 1, тогда в долях от изменчивости высоты сечения:

- прочность бетона $R_b - 0,950$;
- ширина сечения колонны $b - 0,410$;
- временная нагрузка $v - 0,110$;
- прочность арматуры $R_s - 0,093$;
- расстояние от грани колонны до центра тяжести арматуры $a - 0,014$;
- постоянная нагрузка $g - 0,010$.

Выводы:

1. В результате проведенных численных экспериментов можно сделать вывод о том, что изменчивость расчетно-конструктивных параметров в значительной степени влияет на надежность внецентренно сжатых элементов. Следовательно, для решения задач по оценке надежности необходимо создавать базу данных о статистической изменчивости расчетно-конструктивных параметров железобетонных конструкций как в процессе изготовления, так и в процессе эксплуатации.

2. Выявлено, что наибольшее влияние на обеспеченность несущей способности железобетонного внецентренно сжатого элемента оказывают высота поперечного сечения и прочность бетона на сжатие. Поэтому необходимо уделять особое внимание данным параметрам при проектировании и изготовлении конструкции.

Список литературы

1. Болотин, В.В. Статистические методы в строительной механике / В.В. Болотин. – М.: Стройиздат, 1965.
2. Болотин, В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В.В. Болотин. – М.: Стройиздат, 1982.

References

1. Bolotin, V.V. Statistic methods in building mechanics // V.V. Bolotin. – M.: Stroyizdat, 1965.
2. Bolotin, V.V. Methods of the theory of probability and theory of reliability in structure calculations // V.V. Bolotin. – M.: Stroyizdat, 1982.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Нежданов Кирилл Константинович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»,
заслуженный изобретатель России
Тел. 8 (8412) 449637

Кузьмишкин Алексей Александрович,
кандидат технических наук, доцент,
директор Института инженерной экологии
Тел.: 8(8412)42-21-93; 8-927-396-78-23
E-mail: Kuzimishkin@yandex.ru

Гарькин Игорь Николаевич,
студент группы ПГС-51
Тел.: 8(8412)557469; 89093219878
E-mail: igor_garkin@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

Kuzmishkin Alexei Alexandrovich,
Candidate of Science, Associate professor,
Director of the Institute of Environmental
Engineering
Tel: 8(8412)42-21-93; 8-927-396-78-23
E-mail: Kuzimishkin@yandex.ru

Garkin Igor Nikolaevich,
student gr. PGS-51
Tel: 8(8412)55-74-69; 8-909-321-98-78
E-mail: igor_garkin@mail.ru

ТРЕХГЛАВЫЙ РЕЛЬСОВЫЙ БЛОК ДЛЯ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК

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

Рассмотрены вопросы повышения выносливости подкрановых балок с упрощением способа монтажа. Предложен быстроразъёмный трёхглавый блок из стандартных рельсов оригинальной геометрической формы.

Ключевые слова: рельсовый блок, подкрановая балка, повышение выносливости, упрощение монтажа.

THREE-HEADED RAIL UNIT FOR CRANE GIRDERS

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

The questions of crane girders endurance increase and simplification of installation method are considered. A quick-three-headed rail unit from standard rails of original geometry form is offered.

Keywords: three-headed rail unit, crane girders, increase endurance, simplify installation.

Одной из актуальных является проблема увеличения срока службы подкрановых балок зданий промышленных предприятий. Вследствие наращивания промышленного производства и износа элементов каркасов зданий в подкрановых балках быстро возникают усталостные трещины. Их замена требует остановки производства минимум на месяц, что ведёт к огромным экономическим издержкам. В связи с этим актуальным является создание устройств, повышающих долговечность подкрановых конструкций. В их числе рельсобалочные конструкции (рис. 1), разработанные в Пензенском государственном университете архитектуры и строительства [1, 2].

Устройство выполнено из тавра, ориентированного стенкой вверх, и двух рельсов, размещённых симметрично относительно стенки тавра. Подошва каждого из рельсов со стороны стенки тавра срезана заподлицо с боковой поверхностью головки рельса и опирается на полку тавра. Шейки рельсов соединены друг с другом и тавром полыми заклёпками с внедряемыми сердечниками, пропущенными сквозь шейки рельсов и стенку тавра, и образуют единый рельсовый блок. К сожалению, конструкция имеет недостаток – необходимость сверления отверстий в шейках рельсов и срезки части рельсов.

Известно и еще одно техническое решение, описанное в [3]. Конструкция имеет несимметричный профиль и предназначена для трубчатого пояса подкраново-подстропильной балки. Узел снабжён подрельсовой подкладкой, непрерывной с подошвами, копирующими поверхность трубчатого пояса балки, и с центральным продольным гребнем, копирующим полость арочного рельса, для фиксации последнего. Сбоку, на

главе арочного рельса, имеется непрерывный гребень для взаимодействия с направляющими роликами мостового крана, что позволяет исключить сход крана с рельсов. Узел снабжён клеммами для фиксации арочного рельса на этой подкладке и опорным столиком для взаимодействия с нижним торцом этой подкладки. Недостатком такого технического решения является включение в работу упругих клемм.

Предлагаемое конструктивное решение содержит главный рельс, ориентированный вертикально и опирающийся по всей длине на непрерывную подрельсовую подкладку с двумя Г-образными гребнями, нависающими над подошвой главного рельса, и пару боковых рельсов, ориентированных горизонтально головами наружу и рельсовые клеммы. К подрельсовой подкладке симметрично относительно главного рельса сверху неподвижно присоединена пара швеллеров-фиксаторов, ориентированных полками вверх, снизу неподвижно присоединена пара поддерживающих швеллеров, ориентированных полками наружу.

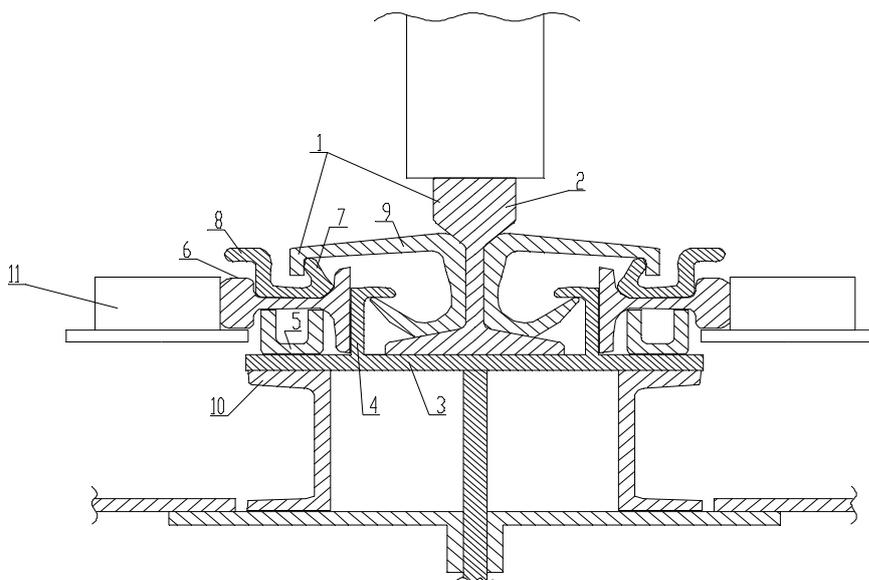


Рис. 1. Трёхглавый рельсовый блок:

- 1 – трёхглавый рельсовый блок; 2 – главный рельс; 3 – подрельсовая подкладка;
 4 – Г-образный гребень; 5 – швеллер-фиксатор; 6 – боковой рельс;
 7,8 – эксцентрик с Z-образной ручкой; 9 – Г-образная клемма;
 10 – поддерживающий швеллер; 11 – направляющий ролик

Главный рельс западает подошвой между Г-образными гребнями подрельсовой подкладки, а каждый из пары боковых рельсов западает подошвой в щель между Г-образными гребнями подрельсовой подкладки и полкой швеллера-фиксатора, опираясь сбоку подошвой на Г-образный гребень. Каждый швеллер-фиксатор западает полками в просвет между головой и подошвой бокового рельса и фиксирует боковой рельс. Пара Г-образных клемм, являющихся упругими, введена в просвет между Г-образными гребнями подрельсовой подкладки и шейкой главного рельса, плотно охватывая шейку с двух сторон. Короткое плечо каждой из Г-образных клемм западает под нависающие гребни подрельсовой подкладки, а длинные плечи нависают над парой боковых рельсов. Эксцентрики с Z-образными ручками западают под нависающие длинные плечи Г-образных клемм и выступают Z-образными ручками вверх, и при взаимодействии с Z-образными ручками двух эксцентриков с клином автоматического натягающего устройства, подвешенного впереди транспортного средства, движущегося по трёхглавым рельсовым блокам. Эксцентрики взаимодействуют с Г-образными клеммами и автоматически натягивают и запирают замковое устройство. Пара Г-образных клемм с эксцентриками и два боковых рельса со швеллерами-фиксаторами образуют арку (подпирают с двух сторон главный рельс). При запираии замкового устройства образуется монолитный трёхглавый рельсовый блок, работающий как единое целое.

Элементы рельсового блока объединяются в монолитное целое сжимающими силами от Г-образных клемм (с заданным натягом). Проскальзывание элементов друг относительно друга исключается.

При взаимодействии Z-образных ручек эксцентриков с клином автоматического натягающего устройства, движущегося по трёхглавым рельсовым блокам (подвешен впереди транспортного средства), эксцентрики взаимодействуют с Г-образными клеммами и автоматически натягают и запирают замковое устройство, образуя монолитный трёхглавый рельсовый блок.

Каждая из Г-образных клемм введена с торца под Г-образные гребни. Г-образные клеммы плотно контактируют в напряженном состоянии с выступами гребней снаружи и сверху, а выпуклой частью – с наклонной шейкой главного рельса. Каждая Г-образная клемма имеет длинное плечо, заканчивающееся на конце выступом вниз. В зазор между длинным плечом, нависающим над шейкой бокового рельса, с торца введён эксцентрик с Z-образной ручкой, взаимодействующий с автоматическим натягающим устройством, навешиваемым на транспортное средство [4]. Все элементы трёхглавого рельсового блока плотно смыкаются и работают как единое целое. Соединение рельсов с подрельсовой подкладкой работает за счёт сил трения, возникающих между контактирующими поверхностями.

Известны также замковые устройства для соединения подвижных частей машин, механизмов, препятствующих их относительно повороту, самоотвинчиванию, самопроизвольному смещению. Рассматриваемое соединение рельсов с подрельсовой подкладкой называется фрикционным замковым соединением. Его отличительной особенностью являются быстроразъёмность (резко снижается трудоёмкость замены рельсов при их износе) и высокая надёжность. Замковое соединение рельсов в монолитный блок осуществляется автоматически. Эксцентрик увеличивает усилие запираения, создаваемое транспортным средством, в два-три раза; за счёт Г-образных клемм силу прижатия можно увеличить до пяти раз. Результирующее сдавливание рельсов и подрельсовой подкладки увеличивается до 15 раз.

Предлагаемый трёхглавый рельсовый блок по сравнению с существующими имеет следующие преимущества:

- высокую устойчивость (боковые рельсы, образуют симметричную пару относительно главного рельса);
- повышенную ремонтпригодность пути (процессы замены изношенных рельсов автоматизированы);
- создан амортизирующий эффект;
- увеличено число моментов инерции и сопротивления;
- снижены динамические нагрузки (стыки рельсов, подрельсовых подкладок и Г-образных клемм смещены друг относительно друга, что минимизирует удары колёс на стыках);
- исключен сход мостового крана с рельсов (высокая надёжность зажатия элементов трёхглавого рельсового блока).

Список литературы

1. Рельсобалочная конструкция: патент России №2191155. Бюл. №29, 20.10.2002 / К.К. Нежданов, А.В. Туманов, А.К. Нежданов.
2. Рельсовый блок: патент России №2216621. Бюл. №32, 20.11.2003 / К.К. Нежданов, А.В. Туманов, А.К. Нежданов.
3. Узел соединения арочного рельса с трубчатым поясом подкраново-подстропильной балки: патент России №2234453. Бюл. №23, 20.08.2004 / К.К. Нежданов [и др.].
4. Устройство для регулирования напряжений рельсовых креплений: патент России №922220. Бюл. №15, 1982 / К.К. Нежданов [и др.].

References

1. Rail and structural steel design: Patent Russia № 2191155 Bull. № 29, 20.10.2002 / K.K. Nezhdanov, A.V. Tumanov, A.K. Nezhdanov.
2. The rail unit: Patent number 2,216,621 Russia. Bull. № 32, 20.11.2003 / K.K. Nezhdanov, A.V. Tumanov, A.K. Nezhdanov.
3. Connection arched rails with tube runway belt-podstropilnoy beam. Patent Russia № 2234453. Bull. № 23, 20.08.2004 / K.K. Nezhdanov [and etc.].
4. Device for regulating voltage rail mounting: Russian Patent number 922 220. Bull. № 15, 1982 / K.K. Nezhdanov [and etc.].

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Гучкин Игорь Сергеевич,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»
Тел.: 8 (841) 52-43-95

Булавенко Вячеслав Олегович,
магистрант
Тел.: 8-904-852-52-00
Bulavenko.slava@yandex.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Guchkin Igor Sergeevich,
Candidate of Science, Professor
of the department «Building constructions»
8 (841) 52-43-95

Bulavenko Vyacheslav Olegovich,
Graduate student
8-904-852-52-00
Bulavenko.slava@yandex.ru

УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ СТАЛЬНОЙ ЗАТЯЖКОЙ, НАКЛАДКАМИ И ФИБРОАРМИРОВАННЫМ ПЛАСТИКОМ

И.С. Гучкин, В.О. Булавенко

Приводятся результаты экспериментальных исследований железобетонных балок, усиленных комбинированной системой – стальной затяжкой, накладками и фиброармированным пластиком.

Ключевые слова: усиление железобетонной балки, комбинированная система, экспериментальные исследования, стальная затяжка, накладки, фиброармированный пластик.

STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE BEAMS BY STEEL BELT, STRAPS AND FIBRE-REINFORCED POLYMER COMPOSITES

I.S. Guchkin, V.O. Bulavenko

The article presents the results of experimental studies of reinforced concrete beams, reinforced by a combined system – steel belt, straps and fibre-reinforced polymer composites.

Keywords: reinforced concrete beam strengthening, combined system, action research, steel belt, straps, fibre-reinforced polymer composites.

Усиление железобетонных балок горизонтальной затяжкой имеет ряд преимуществ перед другими традиционными способами усиления, например упругой промежуточной опорой и шпренгелем. Оно простое в исполнении, не требует большого расхода металла и позволяет за счет предварительного напряжения значительно увеличить жесткость и трещиностойкость балки. Предварительное напряжение своевременно включает элементы затяжки в работу, и балка в дальнейшем может рассматриваться как железобетонная изгибаемая конструкция с увеличенной площадью арматуры и изменившейся рабочей высотой.

Недостатком усиления затяжкой является незначительное увеличение прочности балок, имеющих высокий (более 0,02) коэффициент армирования и относительную высоту сжатой зоны ξ , приближающуюся к предельному значению ξ_R .

На кафедре СК Пензенского ГУАС разработано устройство для усиления однопролетных железобетонных балок, состоящее из горизонтальной стержневой затяжки, размещенной в растянутой зоне, жестких накладок из стального проката (уголки), расположенных в сжатой зоне и соединенных с балкой эпоксидным клеем и шпонками, а также хомутов из фиброармированного пластика, находящихся вблизи опор (рис.1).

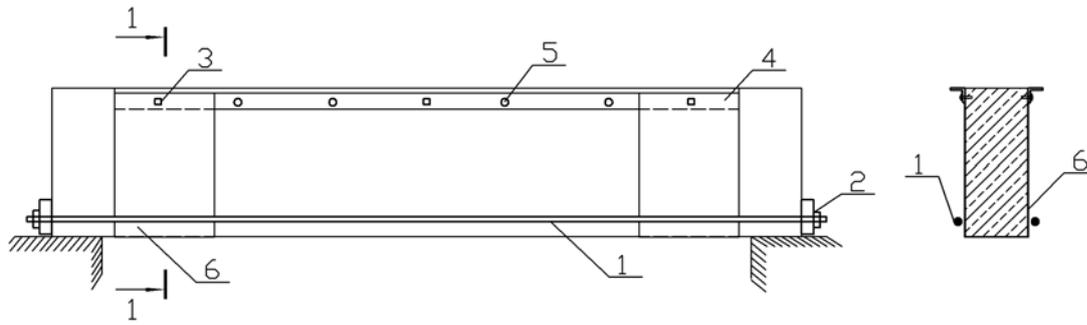


Рис.1. Усиление балки затяжкой и накладками:
 1 – затяжка; 2 – траверса; 3 – болт; 4 – накладка; 5 – шпонка;
 6 – фиброармированный пластик (ФАП)

Конструкция усиления вычисляется по формулам, приведенным в СП 52-101–2003 и СП 52-102–2004 и «Рекомендациях...» [1]. При этом крепление накладок рассчитывается на действующие усилия отрыва (F_1) и сдвига (F_2):

$$F_1 = 1,5\sigma_{\text{сн}} A_{\text{сн}}, \quad (1)$$

$$F_2 = \sigma_{\text{сн}} A_{\text{сн}} - R_{b,p,sh} \cdot b \cdot l_1, \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{сн}}$ – напряжение в расчетном сечении накладки; $A_{\text{сн}}$ – площадь сечения накладки; b – ширина клевого шва; l_1 – длина клевого шва; $R_{b,p,sh}$ – расчетная прочность на срез клевого соединения бетона с накладкой, определяемая в зависимости от длины шва, расчетного сопротивления бетона срезу [1, табл.11] и физико-механических характеристик эпоксидной смолы [2, прил. 4].

Глубина и диаметр шпура, предназначенного под шпонку (болт), определяются из условия прочности бетона на срез по формуле

$$F_{\text{ш1}} \leq \pi d_{\text{ш}} l_{\text{ш}} R_{b,sh}, \quad (3)$$

где $d_{\text{ш}} l_{\text{ш}}$ – соответственно диаметр и глубина шпура; $R_{b,sh}$ – расчетное сопротивление бетона срезу; $F_{\text{ш1}}$ – расчетное усилие отрыва, приходящееся на шпонку.

Глубина заделки шпонки (болта) проверяется из условия прочности бетона на смятие по формуле

$$t \geq \frac{F_{\text{ш2}}}{0,75 R_{b,loc} \pi r}, \quad (3)$$

где r – радиус сечения шпонки; $F_{\text{ш2}}$ – расчетное усилие сдвига, приходящееся на шпонку; $R_{b,loc}$ – расчетное сопротивление бетона смятию, определяется по формуле (6.91), приведенной в СП 52-101–2003, и принимается не более 2,5 и не менее 1,0.

При назначении клевого состава выполняются следующие требования: адгезионная и когезионная прочность не ниже прочности бетона усиливаемой балки; долговечность и пригодность к использованию при любой, в том числе и при отрицательной, температуре; высокая стойкость к циклическим и вибрационным воздействиям.

Экспериментальная проверка эффективности усиления выполнялась в два этапа. На первом этапе исследовалась прочность клевого соединения стальных уголков с бетоном, на втором – физико-механические параметры усиленной балки, её прочность, трещиностойкость и жесткость.

С этой целью из бетона класса В15 изготавливались кубики с размером грани 100 мм и балки сечением 50×100 мм, длиной 1000 мм, армированные плоским каркасом (рис. 2).

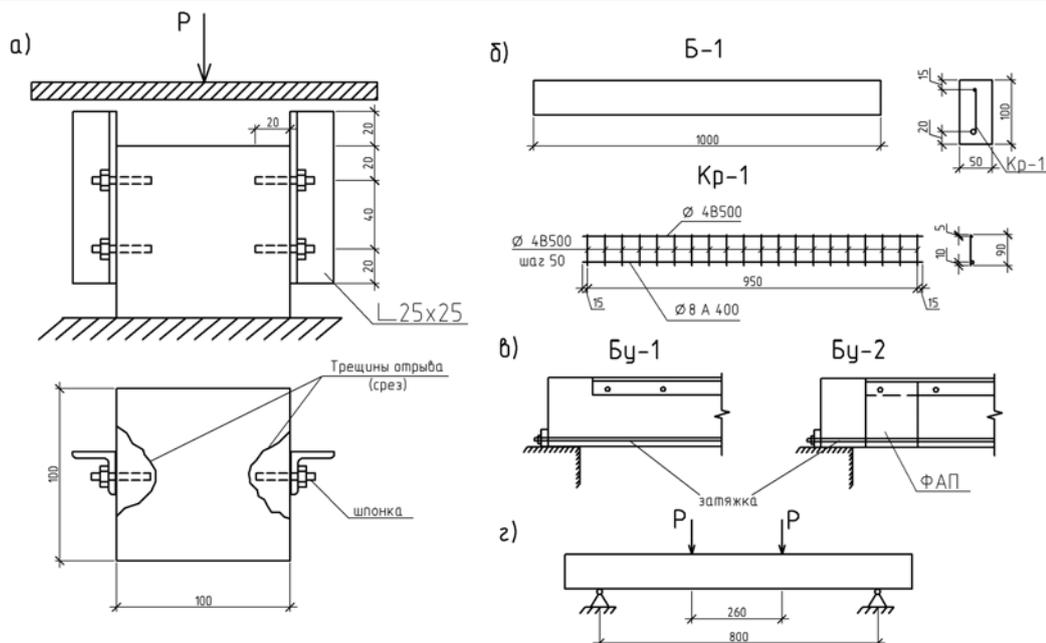


Рис.2. Схема испытаний и геометрические параметры опытных образцов:
 а – схема испытаний клеевого соединения на срез; б, в, г – соответственно схемы армирования, усиления и испытания балок

Кубики использовались для определения усилия среза по клеевому соединению на эпоксидной смоле, расположенному между поверхностью кубика и стальным уголком (рис.2а, 3). Результаты испытаний на срез клеевого соединения, выполненного обычным способом и с использованием стальных шпонок, представлены в табл.1.

Т а б л и ц а 1

Результаты испытаний клеевого соединения на срез

Образец	Усилие среза P , кН	Среднее значение $P_{ср}$, кН	Коэффициент усиления соединения шпонками
К-1	1620	1546,7	$K = \frac{3823,3}{1546,7} = 2,47$
К-2	1320		
К-3	1700		
К _ш -1	4220	3823,3	
К _ш -2	3750		
К _ш -3	3500		

Испытания показали, что независимо от наличия или отсутствия шпонок разрушение клеевого соединения при срезе происходит по бетону (см. рис. 3). Прочность клеевого соединения на шпонках примерно в 2,5 раза выше прочности обычного соединения.

Балки, предназначенные для испытаний, усиливались комбинированной системой в двух вариантах: в первом варианте балка усиливалась затяжкой и уголками (Бу-1), во втором – затяжкой, уголками и фиброармированным пластиком (Бу-2).



Рис. 3. Характер разрушения клеевого соединения на шпонках при срезе

Физико-механические и геометрические параметры элементов усиления были следующие:

- затыжка – стержни из арматуры класса А240 диаметром 8 мм;
- уголки стальные (ст.3) размером 25×25 мм;
- шпонки стальные (ст.3) диаметром 6 мм;
- фиброармированный пластик марки SIKA® CARBOWRAP-530C в виде ленты сечением 300×0,269 мм ($R_{k11}=3800$ МПа, $E_{11} > 230$ МПа);
- эпоксидный клей марки SIKADUR®-330 с отношением смола:отвердитель 4:1.

Балки нагружались двумя сосредоточенными силами, расположенными в третях пролета, и испытывались на универсальной испытательной машине марки ГРМ-1 (рис. 4).



Рис. 4. Фрагмент испытания усиленной балки (Бу-1)

Нагружение производилось плавно ступенями, примерно равными 10 % от ожидаемой разрушающей нагрузки. После каждой ступени делалась 5-минутная выдержка, в течение которой балка и элементы усиления тщательно осматривались, одновременно снимались показания приборов.

Результаты испытаний представлены на рис. 4, 5, 6 и табл. 2.

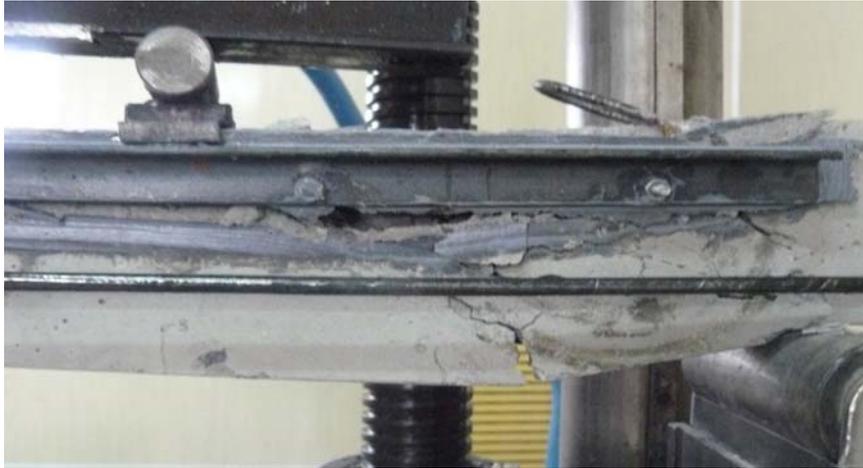
Т а б л и ц а 2

Результаты испытания балок

Исследуемый параметр	Марка образца		
	Б-1*	Бу-1	Бу-2
Нагрузка при появлении трещин ($2P_{cre}$), кН	2,5	9,0	9,0
Прогиб при нагрузке $2P_f=12$ кН, мм	4,6	1,81	1,9
Разрушающая нагрузка ($2P_{ult}$), кН	14,2	19,9	27,0
Коэффициент усиления $K = \frac{P_{ult(Бу-1,2)}}{P_{ult(Бу-1)}}$	–	1,4	1,9

* Среднее значение результатов испытаний трех неусиленных балок.

а



б



в



Рис. 5. Характер разрушения усиленных балок:
а – балка Бу-1; б – балка Бу-2; в – продольное расслоение бетона сжатой зоны при разрушении балки Бу-1 (вид сверху)

Испытания показали, что на всем диапазоне нагружения до величины $P=(0,9-0,95)P_{ult}$ прогибы неусиленных и усиленных балок нарастали плавно, пропорционально росту нагрузки (рис. 6).

В балке Бу-1 первые трещины с шириной раскрытия 0,05-0,1 мм были вертикальными и появились в средней части пролета при нагрузке $P=0,45P_{ult}$. При дальнейшем росте нагрузки количество вертикальных трещин увеличилось, и росла ширина раскрытия. Наклонные трещины появились при нагрузке $P=0,75P_{ult}$. Разрушение балки произошло по наклонной трещине, расположенной на расстоянии 0,2l от опоры, и сопровождалось продольным расслоением бетона сжатой зоны (см. рис. 5а).

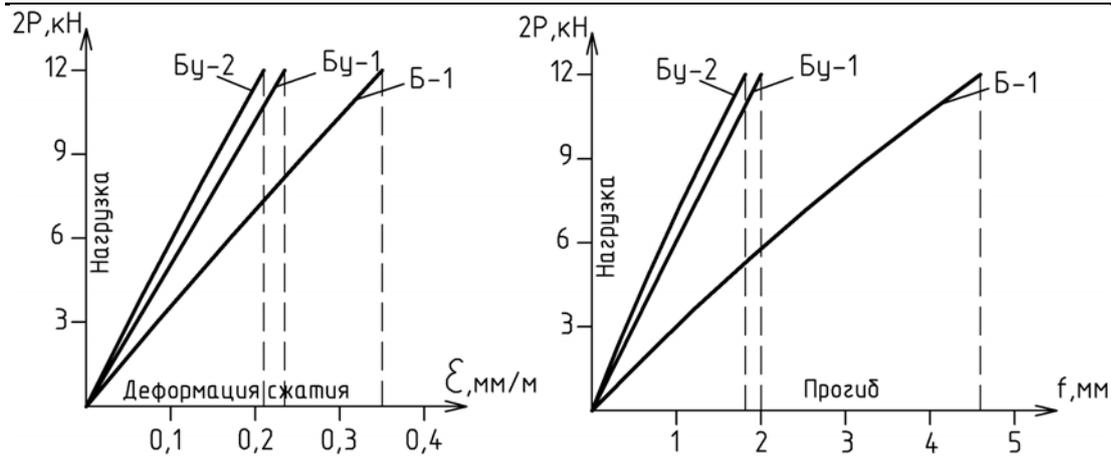


Рис. 6. График зависимостей деформаций сжатия бетона и прогибов балок от нагрузки

В балке Бу-2 вертикальные трещины образовались при нагрузке $P=0,33P_{ult}$, а наклонные – при нагрузке $P=0,95P_{ult}$. Разрушение балки произошло по вертикальной трещине, расположенной на расстоянии $0,35l$ от опоры, и также сопровождалось расслоением бетона сжатой зоны (см. рис. 5б).

Анализируя в целом результаты испытаний опытных образцов, можно констатировать, что комбинированное усиление достаточно эффективно, а именно: при контрольной нагрузке $2P=12$ кН деформации бетона сжатой зоны снизились в среднем на 37,1 %, а прогиб – на 59,8 %. Коэффициент усиления в балках Бу-1 и Бу-2 соответственно равнялся $K=1,4$ и $K=1,9$.

Характерным для картины разрушения усиленных балок явилось образование продольных трещин в сжатой зоне, которое негативно повлияло на эффективность усиления. Однако этот недостаток конструктивно легко устраним, например, постановкой на сварке стальных связей по верху уголков. Фактором, препятствующим образованию продольных трещин, является наличие в пространственных каркасах горизонтальных поперечных стержней, которые отсутствовали в данном эксперименте.

Испытания показали, что усиление железобетонных балок комбинированной системой из стальных элементов и фиброармированного пластика возможно и позволит увеличить несущую способность более чем в 1,5 раза, что вполне достаточно для усиления стропильных балок эксплуатируемых производственных зданий.

Список литературы

- 1 Рекомендации по восстановлению и усилению полносборных зданий полимеррастворами. – М.: Стройиздат, 1990.
2. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. – М.: ФГУП ЦПП, 2006.

References

1. Recommendations to restore and enhance polnosbornyh polymerrastvorami buildings. – М.: Stroyizdat, 1990.
2. Guidelines for strengthening concrete structures with composite materials. – М.: FGUP ZPP, 2006.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Туманов Вячеслав Александрович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: tumanovpguas@list.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Tumanov Vyacheslav Aleksandrovich,
Doctor of Science, Professor
of department « Building designs»
E-mail: tumanovpguas@list.ru

ПОВЫШЕНИЕ ВЫНОСЛИВОСТИ СТАЛЬНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК

В.А. Туманов

Представлены результаты изучения закономерностей регулирования силовых импульсов, передаваемых колесами мостовых кранов на подкрановые конструкции. Интенсивность воздействий импульсов резко снижается (в 2-3 раза) при увеличении времени их действия и протяженности участка контактной нагрузки. Регулирование напряженного состояния в подрельсовой части балки и количества циклов нагружений является эффективным способом повышения долговечности балок и обеспечения их равновыносливости по отношению к другим элементам каркаса.

Ключевые слова: балка, кран, интенсивность, регулирование, цикл.

INCREASE OF UNDER CRANE STEEL BEAMS ENDURANCE

V.A. Tumanov

Research results of regulation power pulses transmitted by bridge cranes wheels on design under cranes are given. Intensity of pulses influences is sharply reduced (in 2-3 times) with time increase of their action and extent of contact loading site. Regulation of an intense state in under rails of a beam and a number of cycles is an effective way to increase beams durability and endurance in relation to other elements of a skeleton.

Keywords: beam, crane, intensity, regulation, cycle.

Низкая долговечность подкрановых балок приводит к большим убыткам в основном из-за вынужденной остановки непрерывного производственного процесса (например, при выплавке стали). Убытки от простоя оборудования и невыпуска продукции во много раз превышают затраты на ремонт или замену вышедших из строя конструкций.

Повреждаемая зона подкрановых балок должна быть проверена на выносливость в зависимости от числа циклов нагружений этой зоны. При проверке выносливости необходимо учитывать, что число циклов нагружения накапливается при проходе каждого колеса и обусловлено, в первую очередь, режимом работы крана. Режим работы крана зависит от класса его использования от С.0 до С.9 [1, Т.1, с. 46, табл. 1.2.6] и класса нагружения от Q_0 до Q_6 . По ГОСТ 25546–82, режим работы крана характеризуется коэффициентом нагружения K_p [1, Т1 с. 44, 1.2.2]:

$$K_p = \sum \left[\left(\frac{Q_i}{Q_{ном}} \right)^3 \frac{C_i}{\sum C_i} \right],$$

где C_i – число циклов работы крана с грузом массы Q_i ; $\sum C_i$ – общее число циклов работы крана с грузом за срок его службы (15...25 лет); Q_i – масса груза, перемещаемая с числом циклов C_i ; $Q_{ном}$ – номинальная грузоподъемность крана.

Цикл работы крана [2] включает: перемещение грузозахватного органа к грузу, подъём, перемещение груза, освобождение грузозахватного органа и возвращение его в исходное положение.

В нашем же случае, следовательно, для какого-то конкретного сечения подкрановой балки число циклов нагружения, при учете только одного крана, будет в $2n$ раз больше (n – число колес с одной стороны крана; 2 – перемещение крана вперед и обратно). Так, например, при весьма интенсивной эксплуатации крана (С.8) общее число циклов работы крана за срок его службы (15 лет), будет от $2 \cdot 10^6$ до $4 \cdot 10^6$ циклов [2, с. 46]. Число же циклов локальных нагружений повреждаемой зоны подкрановой балки за этот же срок, например, для литейного крана $Q = 125 \dots 180$ т будет в $2n = 2 \cdot 8 = 16$ раз больше, то есть от $32 \cdot 10^6$ до $64 \cdot 10^6$ циклов [3].

Частота накопления циклов импульсов напряжений также зависит от характеристик рельса, $J_x, J_{кр}$, длины локального взаимодействия рельса с балкой l_{ef} :

$$l_{ef} = 3,25 \sqrt[3]{\frac{\sum J_x}{t}}$$

Можно подобрать такой рельс, при использовании которого интенсивность накопления циклов импульсов уменьшится в несколько раз (рис. 1).

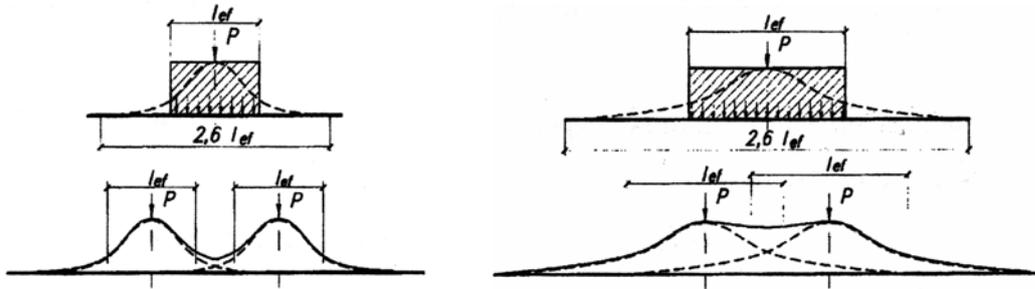


Рис. 1. Варианты загрузки подкрановой балки при различной l_{ef}

Расчёт на выносливость зоны соединения верхнего пояса и стенки балки следует производить с учётом нестационарности нагружения, устанавливаемой из опыта эксплуатации кранов.

Действительные законы изменчивости воздействий соответствуют закону нормального распределения Гаусса и могут быть учтены на основе использования линейной гипотезы суммирования усталостных повреждений. В соответствии с этой гипотезой определяется эквивалентная величина силы $Q_3 = \varphi_3 Q_{ном}$, где $\varphi_3 \leq 1$ – коэффициент режима нагружения, зависящий от закона изменения нагружения крана.

Следует отметить, что относительная изменчивость локальных воздействий меньше, чем изменчивость поднимаемого груза ввиду того, что полезная грузоподъёмность меньше суммарной массы крана и груза в 3,5...2,5 раза.

В справочнике по кранам при расчёте на выносливость [1, с. 134] коэффициент нагружения (эквивалентности) φ_3 определён в зависимости от режима работы. В СНиПе «Нагрузки и воздействия» учитываются два коэффициента [3]:

γ_n – длительной, наиболее часто повторяющейся части нормативной нагрузки от колёс одного крана;

γ_{f1} – локального действия сосредоточенных сил от колёс одного крана.

Произведение этих коэффициентов близко к коэффициенту φ_3 (табл. 1) [4].

Таким образом, эквивалентная величина сосредоточенного локального воздействия колеса крана:

$$P_3^{loc} = \varphi_3 P_n^{loc},$$

где P_3^{loc} – сосредоточенное эквивалентное воздействие одного колеса крана.

Коэффициенты, учитываемые при расчёте на выносливость
зоны локального воздействия колёс крана

Коэффициенты	Режим работы кранов			
	8К	8К	7К	6К
	жёсткий подвес груза		гибкий подвес груза	
Φ_3	1	0,9	0,9...0,8	0,8...0,7
γ_n	0,7	0,7	0,6	0,5
γ_{f1}	1,6	1,4	1,3	1,1
$\gamma_n \gamma_{f1} \approx \Phi_3^*$	1,12	0,98	0,78	0,55

Неблагоприятное напряженное состояние наблюдается по трём площадкам, по которым действуют опасные переменные касательные напряжения, способные привести к появлению усталостных трещин [6].

Исследования [4, 5 и 6] показали, что между наибольшими касательными напряжениями и числом циклов до появления усталостных трещин существует достоверная корреляционная связь. Аналогичные зависимости могут быть получены и от других локальных напряжений, так как они пропорциональны в упругой области.

Асимметрия изменения циклов равна:

$$\rho_\tau = \tau_{\min}/\tau_{\max}; \rho_\sigma = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}, \quad (1)$$

где τ_{\min} и τ_{\max} – наименьшее и наибольшее алгебраические значения переменных напряжений.

Коэффициент асимметрии изменяется от $-\infty$ до ∞ .

Преобразуем коэффициент асимметрии цикла:

$$\rho_\tau = \frac{\tau_{\max} - 2\tau_a}{\tau_{\max}} = 1 - \frac{2\tau_a}{\tau_{\max}} = 1 - 2A_\tau, \quad (2)$$

где $\pm\tau_a$ – амплитуда изменения напряжений; $2A_\tau$ – коэффициент размаха импульсов касательных напряжений цикла (изменяется от 2 до 0):

$$2A_\tau = 2\tau_a/\tau_{\max}. \quad (3)$$

Следуя М.М. Гохбергу:

для нормальных напряжений

$$\sigma_{\rho K} = \frac{2\sigma_{-1}}{(1 - \rho_\sigma)K + (1 + \rho_\sigma)\psi_\sigma} \leq \sigma_\tau; \quad (4)$$

для касательных напряжений

$$\tau_{\rho K} = \frac{2\tau_{-1}}{(1 - \rho_\tau)K + (1 + \rho_\tau)\psi_\sigma} \leq \tau_\tau, \quad (5)$$

где $K = \tau_{-1}/\tau_{-1K}$; – эффективный коэффициент концентрации напряжений; τ_{-1} , τ_{-1K} – пределы выносливости соответственно без концентрации и с концентрацией при симметричном цикле; ψ_τ – коэффициент чувствительности металла к асимметрии цикла:

$$\psi_\tau = \frac{2\tau_{-1} - \tau_0}{\tau_0};$$

здесь τ_0 – предел выносливости соединения при пульсирующем (отнулевом) цикле (учитывает влияние асимметрии цикла на предельную амплитуду τ_{-1a}). Установлено, что для сварных соединений коэффициент ψ_τ близок к нулю, $\psi_\tau = 0...0,1$ [7].

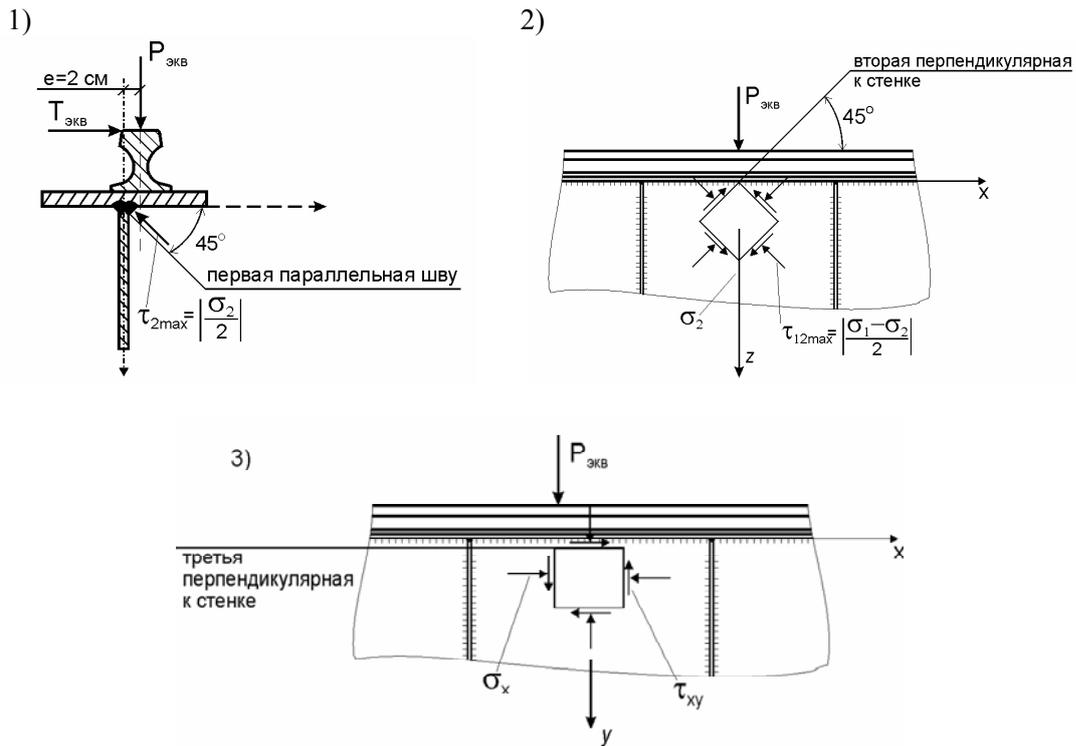


Рис. 2. Опасные площадки, по которым динамическая составляющая напряжений (удвоенная амплитуда $2\tau_a$) может достигать опасной величины

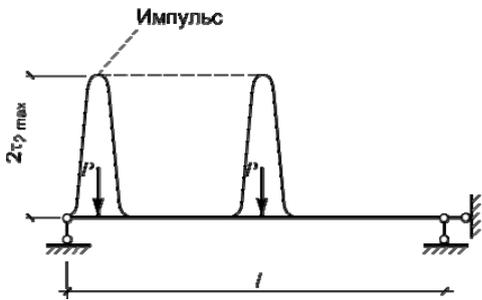


Рис. 3. Импульс $2\tau_{2max}$ (1-я площадка)

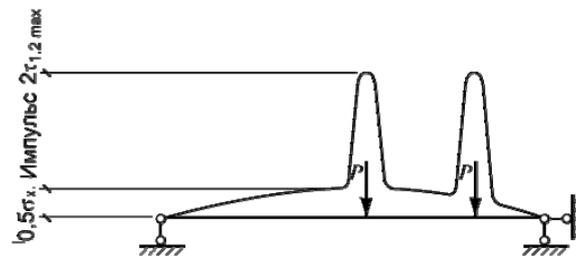


Рис. 4. Импульс $2\tau_{1,2max}$ (2-я площадка)

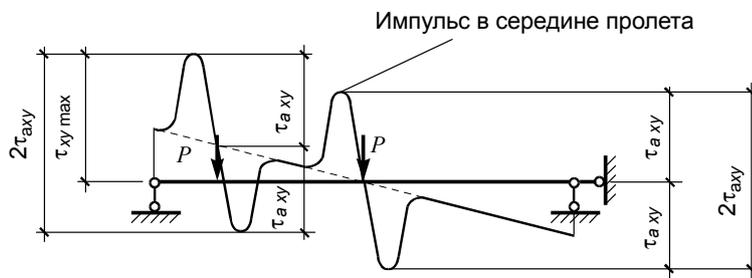


Рис. 5. Импульсы τ_{xy} (3-я площадка)

Справедливо:

$$\tau_{AK} = \frac{2\tau_{-1}}{2A_{\tau}K + (2 - 2A_{\tau})\psi_{\tau}} \leq \tau_{\tau} \quad (6)$$

или

$$\tau_{AK} = \frac{1}{\frac{A_{\tau}}{\tau_{-1K}} + (1 - A_{\tau})\frac{\psi}{\tau_{-1}}} \leq \tau_{\tau}. \quad (7)$$

Примем $\psi_{\tau} = 0$. Тогда

$$\tau_{-1K} = 0,5(1 + \psi_{\tau})\tau_{0K}, \quad (8)$$

$$\tau_{-1K} = 0,5\tau_{0K}, \quad (9)$$

и формула (6) запишется:

$$\tau_{AK} = \tau_{0K}/2A_{\tau} = \tau_{-1K}/A_{\tau}. \quad (10)$$

Следовательно, предел выносливости при любом размахе $2A_{\tau}$ импульсов касательных напряжений цикла получим, поделив экспериментальное значение предела выносливости при пульсирующем (отнулевом) цикле τ_{0K} на коэффициент размаха. Предельные напряжения ограничены расчетным сопротивлением срезу $R_{\text{ср}}$.

Испытания подкрановых балок проводились в специальном стенде, полностью имитирующем все подвижные силовые воздействия, передаваемые на них от колес крана. Предел выносливости, равный $\tau_{0K} = 64,4$ МПа, получен испытанием сварных подкрановых балок в 1/2 натуральной величины, габаритами $3000 \times 400 \times 150$ мм, при пульсирующих импульсах касательных напряжений $\tau_{2\text{max}} = |\sigma_2|/2$, при четырёх миллионах циклов прокатывания колеса через сечение. В табл. 2 даны пределы выносливости сварного соединения τ_{AK} при различных циклах изменений динамических касательных напряжений: симметричном, пульсирующем, при размахе $2A_{\tau} = 0,5$.

Предел выносливости для проката, как и ожидалось, оказался значительно выше, чем у сварной балки, а именно равным $\tau_{0K} = 95,7$ МПа, при четырёх миллионах циклов прокатывания колеса, для линии регрессии, полученной в логарифмических координатах.

Т а б л и ц а 2

Пределы выносливости сварного соединения τ_{AK} при изменении размаха $2A_{\tau}$ импульсов касательных напряжений

Касательные напряжения и их размах	Циклы напряжений			
	Симметричный	Пульсирующий	Асимметричный	Динамики нет
Размах $2A_{\tau}$	2	1	0,5	0
$\tau_{AK} = \frac{\tau_{0K}}{2A_{\tau}}$	$0,5 \tau_{0K}$	τ_{0K}	$2 \tau_{0K}$	$R_{\text{ср}}$
$\tau_{AK} = R_v$	32,2	64,4	128,8	133,3

В табл. 3 даны пределы выносливости сварного соединения τ_{AK} при различных импульсах касательных напряжений: симметричном, пульсирующем, при размахе $2A_{\tau} = 0,5$ для прокатных двутавровых профилей.

В зоне верхнего поясного шва возникают циклически повторяющиеся импульсы напряжений от каждого колеса крана $\Sigma\sigma_y$ и малоизменчивые нормальные и касательные напряжения от общего изгиба и среза балки σ_x и τ_{xy} . Импульсы касательных напряжений τ_{max} и нормальных напряжений $\Sigma\sigma_y$ превышают напряжения от общего изгиба σ_x и среза τ_{xy} примерно в три...пять раз. Величина напряжений от общего изгиба σ_x и среза τ_{xy} мало влияет на коэффициент размаха импульса касательных

напряжений $2A_\tau = 2\tau_a/\tau_{\max}$. Следовательно, динамическая составляющая напряжений является преобладающей.

Т а б л и ц а 3

Пределы выносливости τ_{AK} для прокатных двутавровых профилей при изменении размаха $2A_\tau$ импульсов касательных напряжений

Касательные напряжения и их размах	Циклы напряжений			
	симметричный	пульсирующий	асимметричный	динамики нет
Размах $2A_\tau$	2	1	0,5	0
$\tau_{AK} = \frac{\tau_{0K}}{2A_\tau}$	$0,5 \tau_{0K}$	τ_{0K}	$2 \tau_{0K}$	R_{cp}
$\tau_{AK} = R_v$	46,8	95,7	133,3	133,3

Проверку выносливости по всем площадкам следует проводить в поверхностном слое стенки балки со стороны эксцентриситета рельса. Непровары в пояском шве недопустимы, так как в этом случае выносливость соединения снижается в несколько раз. Экспериментальные и теоретические исследования Нежданова К.К. [4] показали, что выносливость верхней зоны подкрановых балок необходимо проверять по трём площадкам (рис. 2):

1-я площадка наклонена к стенке под углом 45° и пересекает поясной шов по всей длине (на ней действуют $\tau_{2 \max}$);

2-я площадка перпендикулярна к пояскому шву и пересекает его под углом 45° (на ней действуют $\tau_{1,2 \max}$);

3-я площадка параллельна пояскому шву и перпендикулярна стенке балки (на ней действуют $\tau_{x,y \max}$).

Экспериментально установлено [4], что в момент нахождения колеса крана над опасной зоной главный сжимающий импульс напряжений равен сумме импульсов от сжатия и кручения: $\sigma_2 = \sum \sigma_y = \sigma_y + \sigma_{укр}$.

Наиболее опасна та площадка, по которой размах импульсов касательных напряжений $2\tau_a$ достигает максимального значения.

Предел выносливости для сварного шва на первой площадке определен (см. табл. 2) при пульсирующих циклах импульсов касательных напряжений ($2A_\tau = 1$; $\rho = 0$):

$$\tau_{0k} = 64,4 \text{ МПа.}$$

На других же площадках предел выносливости R_v определен в зависимости от коэффициента размаха импульсов касательных напряжений $2A_\tau$:

$$R_v = \frac{\tau_{0k}}{2A_\tau}.$$

Выносливость на каждой из площадок обеспечивается неравенством:

$$\tau_{\max} < R_v \text{ или } \frac{\tau_{\max}}{R_v} = \frac{2\tau_a}{\tau_0} < 1.$$

Для проверки выносливости на каждой неблагоприятно ориентированной площадке необходимо определить:

– размах локальной составляющей $2\tau_a^{loc}$ напряжений цикла, а также максимальную и минимальную их величину τ_{\min} (табл. 4);

– коэффициент размаха $2A_\tau$ импульсов касательных напряжений цикла (изменяется от 2 до 0):

$$2A_\tau = \frac{2\tau_a}{\tau_{\max}};$$

– предел выносливости R_v в зависимости от асимметрии

$$R_v = \tau_{AK} = \frac{\tau_{0k}}{2A_\tau};$$

– произвести проверку выносливости соединения на каждой неблагоприятно ориентированной площадке $\tau_{\max} < R_v$.

Таблица 4

Циклы импульсов касательных напряжений, МПа

Номер площадки	Min τ_{\min}	Размах импульсов $2\tau_a$ (двойная амплитуда)	Max $\tau_{\max} = \tau_{\min} + 2\tau_a$
1 – $\tau_{2\max}$	0	$0,5 \sum\sigma_y $	$\tau_{2\max} = 0,5 \sum\sigma_y $
1 – $\tau_{1,2\max}$	$0,5\sigma_x$	$0,4 \sum\sigma_y $	$\tau_{1,2\max} = 0,5\sigma_x + 0,4 \sum\sigma_y $
1 – $\tau_{x,y\max}$	$\tau_{x,y} - \tau_a$	$0,48 \sum\sigma_y $	$\tau_{x,y\max} = \tau_{x,y} + 0,24 \sum\sigma_y $

В табл. 5 приведены формулы для определения максимальных импульсов касательных напряжений $\tau_{\max} = \tau_{\min} + 2\tau_a$ на площадках 1, 2, 3 в зависимости от минимальных τ_{\min} и размаха импульса $2\tau_a$ [4, 6].

Следовательно, для обеспечения выносливости верхнего поясного шва балки необходимо гарантировать, чтобы $\tau_{\max}/R_v < 1$ по всем рассматриваемым площадкам. Это требование достигается более совершенными конструктивными формами подкрановых конструкций.

Таблица 5

Изменения импульсов касательных напряжений, МПа, на неблагоприятно ориентированных площадках

Номер площадки	τ_{\min}	$2\tau_a$	$\tau_{\max} = \tau_{\min} + 2\tau_a$	$2A_\tau = 2\tau_a/\tau_{\max}$	$R_v = \tau_{ok}/2A_\tau$	$\frac{\tau_{\max}}{R_v} < 1$
1	0	$0,5 \sum\sigma_y $	$0,5 \sum\sigma_y $	1	64,4	
2	$0,5\sigma_x$	$0,4 \sum\sigma_y $	$0,5\sigma_x + 0,4 \sum\sigma_y $	$\frac{0,4 \sum\sigma_y }{0,5\sigma_x + 0,4 \sum\sigma_y }$	$\frac{64,4(0,5\sigma_x + 0,4 \sum\sigma_y)}{0,4 \sum\sigma_y }$	
В середине пролёта $\tau_{x,y} = 0$						
3	$-0,24 \sum\sigma_y $	$0,48 \sum\sigma_y $	$0,24 \sum\sigma_y $	2	32,2	
Около опоры $\tau_{x,y}$						
3	$\tau_{x,y} - \tau_a$	$0,48 \sum\sigma_y $	$\tau_{x,y} + 0,24 \sum\sigma_y $	$\frac{0,48 \sum\sigma_y }{\tau_{x,y} + 0,24 \sum\sigma_y }$	$\frac{64,4(\tau_{x,y} + 0,24 \sum\sigma_y)}{0,48 \sum\sigma_y }$	

Список литературы

1. Справочник по кранам: в 2 т. Т.1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций / В.И. Брауде, М.М. Гохберг, И.Е. Звягин [и др.]; под общ. ред. М.М. Гохберга. – М.: Машиностроение, 1988. – 536 с.

2. Справочник по кранам / под ред. А.И. Дукельского. – Л.: Машиностроение, 1971. – 400 с.
3. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции // Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002. – 96 с.
4. Нежданов, К.К. Совершенствование подкрановых конструкций и методов их расчета: дис.... д-ра техн. наук / К.К. Нежданов. – Пенза, 1992. – 348 с.
5. Нежданов, К.К. Эффективные профили рельсов транспортных конструкций / К.К. Нежданов, В.А. Туманов. – М.: Госстрой России, ФГУП ВНИИТПИ, №11842, 2002. – 115 с.
6. Нежданов, К.К. Расчет на выносливость зоны соединения верхнего пояса и стенки подкрановой балки / К.К. Нежданов, В.А. Туманов, М.А. Карев // Изв. вузов. Строительство. – 2001. – №8. – С. 139–143.
7. Когаев, В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени / В.П. Когаев; под ред. А.П. Гусенкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1993. – 364 с.

References

1. The directory on cranes: in 2 books. That. 1. Characteristics of materials and loadings. Bases of calculation of cranes, their drives and metal designs / V.I. Braude, M.M. Gohberg, I.E. Zvyagin's [etc.]; under M.M.Gohberga's general edition. – М.: Mechanical engineering, 1988. – 536 p.
2. The directory on cranes / under A.I.Dukelskogo's edition. – Leningrad: Mechanical engineering, 1971. – 400 p.
3. Building norms and rules II-23-81*. Steel designs / Gosstroy of Russia. – М.: State Unitary Enterprise TSPP, 2002. – 96 p.
4. Nezhdanov, K.K. Perfection under cranes of designs and methods of their calculation: on competition of a scientific degree of Dr.Sci.Tech / K.K. Nezhdanov. – Penza, 1992. – 348 p.
5. Nezhdanov, K.K. Effective's Fogs structures of rails of transport designs / K.K. Nezhdanov, V.A. Tumanov. – М.: Gosstroy of Russia, FGUP VNIINTPI, №11842. – 2002. – 115 p.
6. Nezhdanov, K.K. Calculation on endurance of a zone of connection of the top belt and a wall under cranes of a beam / K.K. Nezhdanov, V.A. Tumanov, M.A. Karev // News of high schools. Construction. – 2001. – №8. – P. 139–143.
7. Kogaev, V.P. Calculation on durability at pressure{voltage}, variable in during / V.P. Kogaev; under A.P. Gusenkova's edition. – 2 edition advanced and added. – М.: Mechanical engineering, 1993. – 364 p.

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс

Россия, 302020, г. Орел,
ул. Наугорское шоссе, д. 29,
тел. (факс): (4862) 41-66-84;
e-mail: unpk@ostu.ru

Черняев Андрей Александрович,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции и материалы»
Архитектурно-строительного института
Тел. (факс): 8(4862)73-43-95
E-mail: Chernyev87@yandex.ru

State University – Educational-Science-
Production Complex

Russia, 302020, Oryol, 29,
Naugorsky highway St.,
tel. (fax): (4862) 41-66-84;
e-mail: unpk@ostu.ru

Chernyev Andrew Aleksandrovich,
Postgraduate student of the department
«Building designs and materials»
Architecturally-building institute
Tel. (fax): 8(4862)73-43-95
E-mail: Chernyev87@yandex.ru

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ПЛАСТИНОК СРЕДНЕЙ ТОЛЩИНЫ ИЗ УСЛОВИЯ ЖЕСТКОСТИ*

А.А. Черняев

Для определения максимального прогиба (жесткостной расчет) упругих изотропных круглых, правильных n -угольных, треугольных и ромбических пластинок с шарнирно опертым либо жестко защемленным контуром от действия равномерно распределенной по всей площади поперечной нагрузки предлагается использовать единую для всех расчетную функцию одной переменной, а именно безразмерную геометрическую характеристику формы плоской области (отношение внутреннего конформного радиуса к внешнему).

Ключевые слова: жесткостной расчет, поперечный изгиб, круглые, правильные n -угольные, треугольные, ромбические пластинки, отношение конформных радиусов, геометрические методы строительной механики.

TO THE QUESTION OF PLATES OF AVERAGE THICKNESS CALCULATION FROM THE RIGIDITY CONDITION

A.A. Chernyaev

To define maximal deflection of elastic isotropic round, regular n -angular, triangular and rhomb plates with joint or rigid support contour due to the action of regular distributed cross section loading, the autor offers to use uniform calculation function of one variable – dimension geometrical characteristic of flat area form (relation of internal conformal radiusless to external one).

Keywords: calculation on rigidity, cross-section bend, round, correct n -coal, triangular, rhombic plates, regular intervals distributed loading, maximal deflection, the relation of conformal radiuses, the geometrical methods of building mechanics.

Нормы [1] устанавливают предельные прогибы и перемещения (жесткостной расчет) несущих и ограждающих элементов конструкций зданий и сооружений при расчете по второй группе предельных состояний независимо от применяемых строительных материалов. Одними из них являются пластинки¹, широко распространенные во многих областях техники (судостроение, авиастроение, гидротехническое

* Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы Минобрнауки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 годы)» по проекту №2.1.2/10201 «Разработка теоретических основ и развитие вибрационных методов диагностики и контроля качества строительных конструкций балочного типа и пластинок».

¹ В работе рассматриваются упругие изотропные жесткие пластины средней толщины (пластинки): $D_{\min}/10 \leq h \leq D_{\min}/100$, где h – толщина пластинки, D_{\min} – минимальный габаритный размер в плане; $w_0 \leq h/5$, где w_0 – максимальный прогиб.

строительство, мостостроение, машиностроение и пр.) и зачастую работающие в условиях поперечного изгиба.

В настоящей работе рассматривается подход геометрических методов¹ решения двумерных задач строительной механики к выполнению жесткого расчета пластинок. При этом используется новый аргумент – безразмерная геометрическая характеристика формы плоской области (отношение внутреннего конформного радиуса к внешнему \dot{r}/\bar{r}).

Как аргументы, по отдельности конформные радиусы широко применяются при решении многих прикладных задач математической физики, гидро- и аэродинамики, магнитогидродинамики и пр. [3, 4], а как отношение – впервые были использованы в теории пластинок профессором В.И. Коробко и доцентом А.Н. Хусточкиным в 1994 году при исследовании задачи устойчивости [5]. Ими было установлено одно «универсальное» свойство [5, с. 101]:

«Значения критического усилия при потере устойчивости от действия равномерного всестороннего сжатия для круглых, правильных n -угольных, треугольных и ромбических шарнирно опертых либо жестко защемленных по контуру равновеликих пластинок (равной площади), представленные как функции отношения внутреннего к внешнему конформных радиусов областей пластинок, вырождаются в одну кривую».

Как следствие, шарнирно опертые либо жестко защемленные по контуру равновеликие пластинки указанных форм с одинаковым значением отношения конформных радиусов имеют и одинаковую величину критического усилия.

Никакие другие аналогичные аргументы не позволяют объединить одной аналитической зависимостью решения критического усилия для такого большого подмножества форм пластинок, в том числе широко известный аналог – коэффициент формы K_f , используемый в изопериметрическом методе (ИЗПМ) [2] и методе интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ) [6]. Коэффициент формы K_f представляет собой контурный интеграл отношения элементарного отрезка контура области к перпендикуляру, опущенному из его центра к некоторой точке внутри области, величина коэффициента формы относительно которой имеет минимальное значение. Термин «коэффициент формы» введен профессором В.И. Коробко, подробнее с его определением, значениями для широкого круга плоских выпуклых областей (треугольных, прямоугольных, ромбических и т.д.) и изопериметрическими свойствами можно ознакомиться, например, в работах [2, 6].

Это «универсальное» свойство основано на возможности представления площади плоской области A (области пластинки) через внутренний \dot{r} и внешний \bar{r} конформные радиусы:

$$A = \pi \dot{r} \bar{r}. \quad (1)$$

Для правильных n -угольных и ромбических областей равенство (1) следует из выражений для \dot{r} и \bar{r} как данных, которые выводятся из формулы Э.Б. Кристоффеля – Г.А. Шварца, а для треугольных – установлено Х.Р. Хиги [3, с. 330].

Приведем известную математическую аналогию задач устойчивости и поперечного изгиба пластинок, описываемых дифференциальными уравнениями эллиптического типа четвертого порядка [6, с. 46–47]:

$$\begin{cases} D\Delta^2\Delta^2w - q_0\Delta^2w = 0, \\ D\Delta^2\Delta^2w - q = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где D – цилиндрическая жесткость; Δ – оператор Лапласа; w – функция прогибов; q_0 – интенсивность равномерной нагрузки при всестороннем сжатии пластинки; q – интенсивность поперечной нагрузки.

¹ Круг задач, к решению которых могут применяться геометрические методы, для пластинок ограничивается случаем равного для всех условия нагружения. Для задачи поперечного изгиба – это: равномерно распределенная по всей площади нагрузка; сосредоточенная сила, приложенная в геометрическом центре; чистый изгиб с постоянной величиной изгибающего момента и др. В настоящей работе рассматривается первый случай поперечного нагружения. Подробнее с геометрическими методами строительной механики и их физико-геометрической сущностью можно ознакомиться, например, в работе [2].

Учитывая приведенную аналогию (2), можно предположить, что это «универсальное» свойство и в задаче поперечного изгиба для рассматриваемого множества пластинок так же может быть обнаружено. При этом параметром, аналогичным критическому усилию, будет выступать значение максимального прогиба.

Формулы для нахождения внутреннего \dot{r} и внешнего \bar{r} конформных радиусов для рассматриваемых в работе областей (здесь и далее, для простоты изложения, вместо слова «область» будем просто говорить «фигура»; т.е. круг, правильный n -угольник, треугольник, ромб вместо круглая, правильная n -угольная, треугольная, ромбическая области) приводятся в научной и справочной литературе по теории конформного отображения и математической физике, например в [3, 4]. В.И. Коробко и А.Н. Хусточкин [5] по известным формулам подсчитали их значения, а также их отношение \dot{r}/\bar{r} . Приведем полученные в работе [5] графики изменения отношения конформных радиусов \dot{r}/\bar{r} в зависимости от характерного для каждой фигуры геометрического параметра (рис. 1–5, а). Таким параметром является: для правильных n -угольников – количество сторон n (при $n \rightarrow \infty$ получаем в пределе круг); для ромбов – острый угол α ($\alpha \leq 90^\circ$); для равнобедренных треугольников – равный угол при основании α ($\alpha \leq 90^\circ$), для прямоугольных треугольников – меньший угол при гипотенузе α ($\alpha \leq 45^\circ$); для произвольных треугольников – два меньших угла α и β ($\alpha < 90^\circ$; $\beta < 90^\circ$). На рис. 1–5, б изображены указанные геометрические параметры.

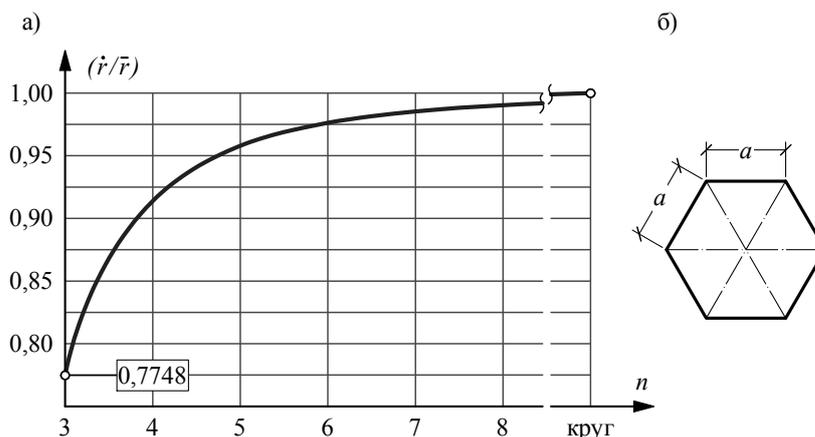


Рис. 1. Правильные фигуры:
а – график $\dot{r}/\bar{r} = f(n)$; б – общий вид области

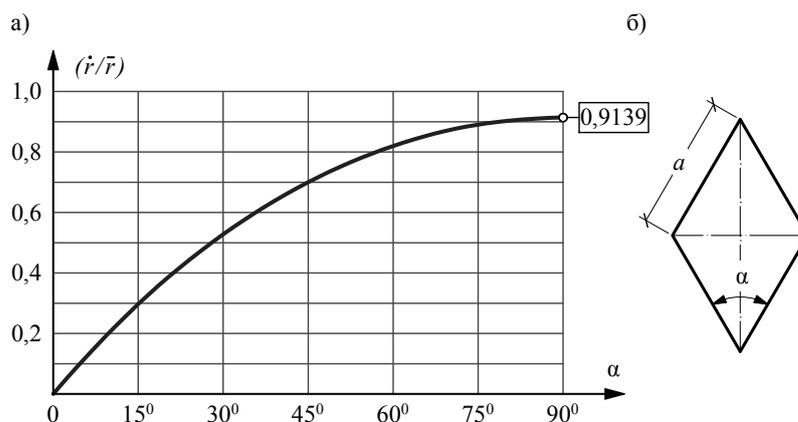


Рис. 2. Ромбы:
а – график $\dot{r}/\bar{r} = f(\alpha)$; б – общий вид области

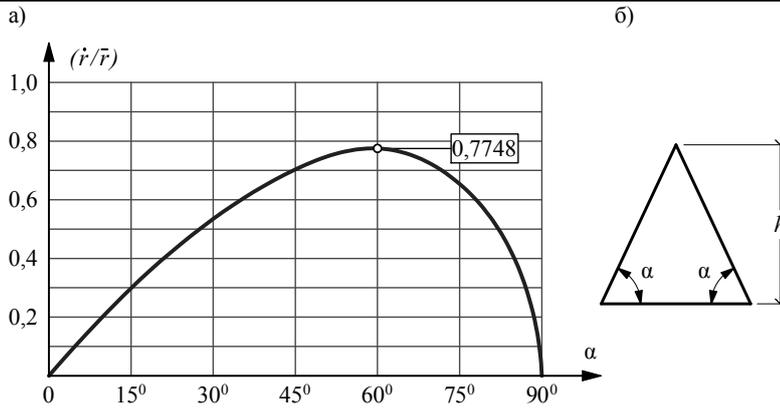


Рис. 3. Равнобедренные треугольники:
а – график $\dot{i}/\bar{r} = f(\alpha)$; б – общий вид области

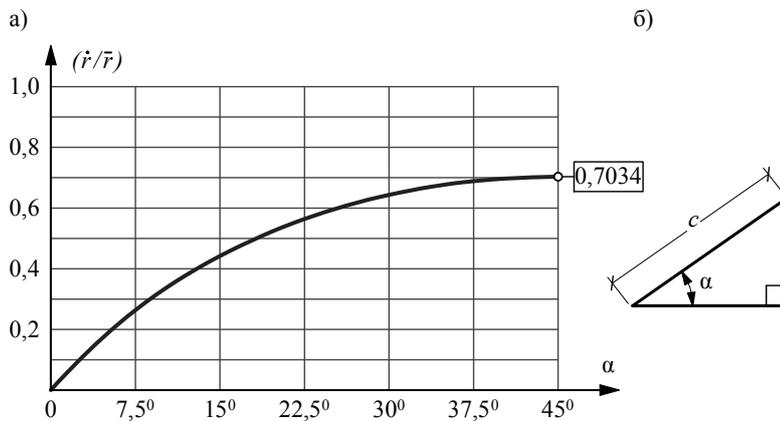


Рис. 4. Прямоугольные треугольники:
а – график $\dot{i}/\bar{r} = f(\alpha)$; б – общий вид области

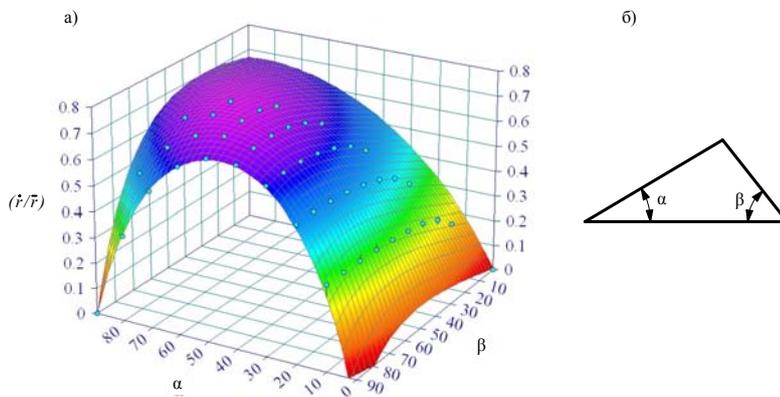


Рис. 5. Произвольные треугольники:
а – график $\dot{i}/\bar{r} = f(\alpha; \beta)$; б – общий вид области

В колонки 2, 6 (см. таблицу) сведем известные значения максимального прогиба w_0 и значения, полученные методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программного комплекса «SCAD_11.3» (с числом конечных элементов не менее 1000), а в колонку 1 – значения отношения конформных радиусов \dot{i}/\bar{r} , взятые из работы [5]. Поскольку значение максимального прогиба w_0 для круглых шарнирно опертых пластинок зависит от коэффициента Пуассона материала ν , не входящего в выражение для цилиндрической жесткости D , то решение для них не приводим.

Сопоставление известных значений максимального прогиба шарнирно опертых и жестко заземленных по контуру пластинок со значениями, найденными по функциям (4), (5)

Геометрические параметры пластинок	\dot{r}/\bar{r}	Шарнирное опирание				Жесткое защемление			
		известные значения		по (4)	Δ , %	известные значения		по (5)	Δ , %
		$10^3 k_w$	источ.	$10^3 k_w$	–	$10^3 k_w$	источ.	$10^3 k_w$	–
№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пластинки в форме правильных фигур									
Круг	1	–	–	–	–	1,583	[6]	1,579	-0,27
16-угольник	0,9988	6,172	[МКЭ]	6,175	0,05	1,568	[МКЭ]	1,573	0,33
10-угольник	0,9951	5,929	[МКЭ]	5,916	-0,22	1,548	[МКЭ]	1,556	0,53
8-угольник	0,9903	5,313	[МКЭ]	5,346	0,63	1,518	[МКЭ]	1,535	1,12
6-угольник	0,9762	4,954	[МКЭ]	4,889	-1,32	1,480	[6]	1,478	-0,16
5-угольник	0,9579	4,557	[МКЭ]	4,575	0,39	1,410	[6]	1,410	0,02
4-угольник	0,9139	4,06	[6]	4,082	0,55	1,262	[6]	1,267	0,43
3-угольник	0,7748	3,086	[6]	3,101	0,47	0,880	[6]	0,900	2,28
Пластинки в форме равнобедренных треугольников									
$\alpha = 80^\circ$	0,5308	1,622	[МКЭ]	1,617	-0,34	0,418	[МКЭ]	0,428	2,44
$\alpha = 70^\circ$	0,7270	2,745	[МКЭ]	2,801	2,04	0,778	[МКЭ]	0,793	1,91
$\alpha = 60^\circ$	0,7748	3,086	[6]	3,101	0,47	0,880	[6]	0,900	2,28
$\alpha = 50^\circ$	0,7411	2,841	[МКЭ]	2,892	1,78	0,817	[МКЭ]	0,824	0,81
$\alpha = 40^\circ$	0,6556	2,628	[МКЭ]	2,647	0,73	0,642	[МКЭ]	0,647	0,79
$\alpha = 30^\circ$	0,5342	2,326	[МКЭ]	2,337	0,46	0,432	[МКЭ]	0,434	0,37
$\alpha = 20^\circ$	0,3837	1,65	[МКЭ]	1,634	-0,95	0,221	[МКЭ]	0,223	0,71
Пластинки в форме прямоугольных треугольников									
$\alpha = 45^\circ$	0,7034	2,628	[МКЭ]	2,627	0,05	0,738	[МКЭ]	0,743	0,66
$\alpha = 40^\circ$	0,6970	2,618	[МКЭ]	2,617	0,71	0,726	[МКЭ]	0,730	0,50
$\alpha = 30^\circ$	0,6436	2,251	[МКЭ]	2,261	0,45	0,620	[МКЭ]	0,624	0,66
$\alpha = 20^\circ$	0,5284	1,598	[МКЭ]	1,604	0,37	0,421	[МКЭ]	0,424	0,81
$\alpha = 10^\circ$	0,3309	0,719	[МКЭ]	0,705	-1,90	0,164	[МКЭ]	0,163	-0,79
Пластинки в форме произвольных треугольников									
$\alpha = 60^\circ, \beta = 45^\circ$	0,7459	2,922	[МКЭ]	2,924	0,05	0,830	[МКЭ]	0,834	0,52
$\alpha = 40^\circ, \beta = 80^\circ$	0,7182	2,741	[МКЭ]	2,745	0,16	0,771	[МКЭ]	0,774	0,39
$\alpha = 30^\circ, \beta = 70^\circ$	0,6511	2,342	[МКЭ]	2,309	-1,41	0,641	[МКЭ]	0,638	-0,41
$\alpha = 30^\circ, \beta = 45^\circ$	0,6087	2,053	[МКЭ]	2,050	-0,17	0,564	[МКЭ]	0,560	-0,76
$\alpha = 20^\circ, \beta = 60^\circ$	0,5225	1,570	[МКЭ]	1,573	0,22	0,412	[МКЭ]	0,415	0,76
$\alpha = 20^\circ, \beta = 50^\circ$	0,5070	1,491	[МКЭ]	1,494	0,22	0,393	[МКЭ]	0,391	-0,46
$\alpha = 15^\circ, \beta = 45^\circ$	0,4215	1,084	[МКЭ]	1,086	0,17	0,267	[МКЭ]	0,270	0,79
$\alpha = 10^\circ, \beta = 50^\circ$	0,3243	0,681	[МКЭ]	0,680	-0,16	0,155	[МКЭ]	0,156	0,52
Ромбические пластинки									
$\alpha = 90^\circ$	0,9139	4,06	[6]	4,082	0,55	1,262	[6]	1,267	0,43
$\alpha = 80^\circ$	0,9036	3,99	[6]	3,989	-0,03	1,224	[МКЭ]	1,237	1,03
$\alpha = 70^\circ$	0,8724	3,74	[МКЭ]	3,734	-0,15	1,134	[МКЭ]	1,147	1,18
$\alpha = 60^\circ$	0,8199	3,41	[6]	3,376	-1,01	1,022	[МКЭ]	1,009	-1,26
$\alpha = 50^\circ$	0,7457	2,93	[6]	2,921	-0,32	0,850	[МКЭ]	0,834	-1,90
$\alpha = 40^\circ$	0,6487	2,253	[МКЭ]	2,293	1,78	0,647	[МКЭ]	0,634	-2,04
$\alpha = 30^\circ$	0,5277	1,64	[6]	1,600	-2,42	0,428	[МКЭ]	0,423	-1,10
$\alpha = 20^\circ$	0,3807	0,923	[6]	0,901	-3,50	0,224	[МКЭ]	0,219	-3,17

Примечания: 1. α – равный угол при основании для равнобедренного треугольника; для прямоугольного – меньший угол при гипотенузе; для произвольного – один из углов (β – второй меньший угол); для ромба – острый угол. 2. Значения \dot{r}/\bar{r} взяты из работы [5]. 3. Δ – разница между значениями в колонках 2 и 4, 6 и 8.

Значения максимального прогиба w_0 представим в общем виде зависимостью:

$$w_0 = k_w \frac{qA^2}{D}, \quad (3)$$

где k_w – коэффициент пропорциональности (численное решение), зависящий от формы пластинки и ее граничных условий; A – площадь пластинки; q и D – то же, что и в выражении (2).

В (3) площадь пластинки A вычленяется из частного решения, что означает, что численное решение k_w приводится для пластинок единичной площади, т.е. равновеликих. На основании данных таблицы (колонки 1, 2 и 1, 6) отложим в координатной плоскости $k_w - (\dot{r}/\bar{r})$ значения максимальных прогибов k_w из выражения (3) для шарнирно опертых и жестко защемленных пластинок (рис. 6).

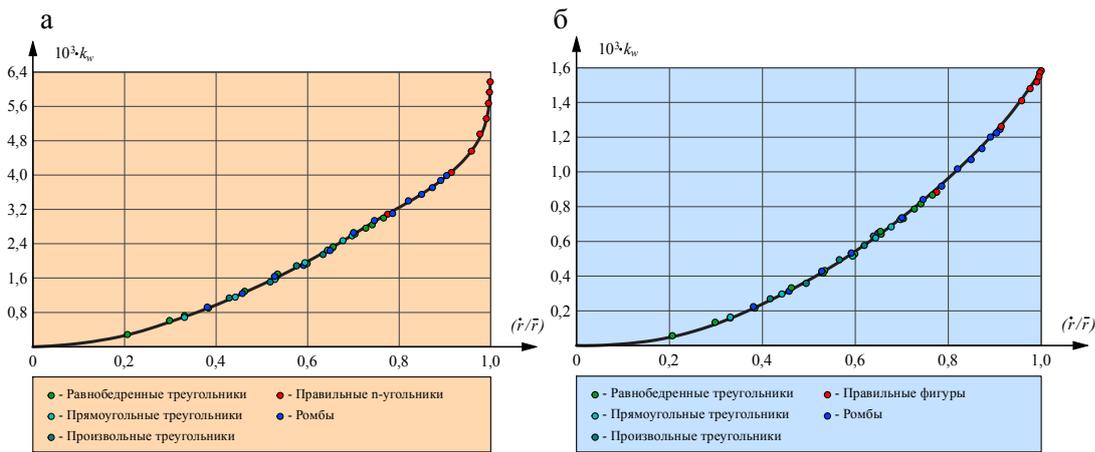


Рис. 6. Кривая $k_w - (\dot{r}/\bar{r})$:
а – для шарнирно опертых пластинок; б – для жестко защемленных пластинок

Из рис. 6 видно, что все множество значений k_w для рассматриваемого множества форм пластинок вырождается в одни кривые. Воспользуемся программой «TableCurve_2D» и получим аппроксимирующие функции рационального вида «Rational Equations» с удержанием необходимого количества знаков в численных коэффициентах при аргументе:

– для шарнирно опертых пластинок (рис. 6, а)

$$k_w = \frac{0,0209 + 6,349(\dot{r}/\bar{r})^2 - 6,184(\dot{r}/\bar{r})^4}{1 - 0,5516(\dot{r}/\bar{r})^2 - 0,4192(\dot{r}/\bar{r})^4}; \quad (4)$$

– для жестко защемленных пластинок (рис. 6, б)

$$k_w = \frac{-0,0044 + 1,5655(\dot{r}/\bar{r})^2 - 1,1923(\dot{r}/\bar{r})^4}{1 - 0,67712(\dot{r}/\bar{r})^2 - 1,1923(\dot{r}/\bar{r})^4}. \quad (5)$$

Отклонение значений, получаемых по функциям (4), (5), от известных не превышает 3,5 % и 3,2 % соответственно (см. таблицу, колонки 5, 9). И, таким образом, выдвинутое в начале работы предположение можно считать теоретически подтвержденным, экспериментальная проверка планируется в ближайшее время, результаты которой будут опубликованы в последующих работах автора.

На основании результатов исследования можно сделать основные выводы:

1. Значения максимального прогиба от действия равномерно распределенной по всей площади поперечной нагрузки для круглых, правильных n-угольных, треугольных и ромбических шарнирно опертых (без круглых) либо жестко защемленных по контуру

равновеликих пластинок, представленные как функции отношения внутреннего к внешнему конформных радиусов областей пластинок, вырождаются в единые кривые.

2. Шарнирно опертые либо жестко защемленные по контуру равновеликие пластинки рассматриваемых форм, имеющие одинаковое значение отношения конформных радиусов, имеют и одинаковое значение максимального прогиба.

3. Полученные единые расчетные функции (4), (5) могут эффективно использоваться при выполнении жесткостного расчета пластинок рассматриваемых форм, а также имеют широкие возможности при решении оптимизационных задач, связанных с выбором оптимальных, с точки зрения жесткости, геометрических параметров и форм плоских элементов конструкций.

Список литературы

1. СНиП 2.01.07–85*. Нагрузки и воздействия / Госстрой России. – М.: Министерство строительства РФ, 1996. – 57 с.
2. Коробко, В.И. Изопериметрический метод в строительной механике: в 3 т. Т.1. Теоретические основы изопериметрического метода / В.И. Коробко. – М.: Изд-во «АСВ стран СНГ», 1997. – 390 с.
3. Поля, Г. Изопериметрические неравенства в математической физике / Г. Поля, Г. Сеге. – 2-е изд., стер. – М.: КомКнига, 2006. – 336 с.
4. Иванов, В.И. Конформные отображения и их приложения / В.И. Иванов, В.Ю. Попов. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 324 с.
5. Коробко, В.И. Изопериметрический метод в задачах устойчивости пластинок / В.И. Коробко, А.Н. Хусточкин. – Ростов н/Д: Изд-во Северо-Кавказского научного центра высшей школы, 1994. – 148 с.
6. Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости / А.В. Коробко. – М.: Изд-во «АСВ», 1999. – 320 с.

References

1. Sanitary Code (SNIIP) 2.01.07–85*. Loadings and influences / Gosstroy of Russia. – M: the Ministry of building of the Russian Federation, 1996. – 57 p.
2. Korobko, V.I. Isoperimetric method in the building mechanics in 3 т. Т. 1. Theoretical bases of an isoperimetric method / V.I. Korobko. – M: Publishing house ASV of the CIS countries, 1997. – 390 p.
3. Polya, G. Isoperimetric inequalities in the mathematical physics / G. Polya, G. Sege. – 2 edit., stereotypic – M: KomBook, 2006. – 336 p.
4. Ivanov V.I. Conformal displays and their appendices / V.I. Ivanov, V.Ju. Popov. – M: Editorial URSS, 2002. – 324 p.
5. Korobko, V.I. Isoperimetric method in problems of stability of plates / V.I. Korobko, A.N. Hustochkin. – Rostov-on-Don: Publishing house of the North Caucasian center of science of the higher school, 1994. – 148 p.
6. Korobko, A.V. Geometrical modeling of area by form in the two-dimensional problems of theory elasticity / A.V.Korobko. – M: Publishing house ASV, 1999. – 320 p.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ENGINEERING SYSTEMS

УДК 628.356.3

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. 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.

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

Кошев Александр Николаевич,
доктор химических наук, профессор,
зав. кафедрой «Информационные системы
и компьютерное моделирование»

Penza State University of Architecture and Construction

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

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

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

Garkina Irina Aleksandrovna,
Doctor of Science,
Professor of the department «Mathematics and
mathematical modeling»
E-mail: pmi@pguas.ru

Koshev Aleksandr Nikolaevich,
Doctor of Chemistry Science, Professor,
Head of the department «Information systems
and computer modeling»

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ СТАНЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ ЭРЛИФТНЫХ УСТРОЙСТВ

С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, И.А. Гарькина, А.Н. Кошев

Приведены результаты промышленного внедрения новой технологии интенсификации работы сооружений биологической очистки сточных вод, предусматривающей использование перемешивающих эрлифтных устройств. Внедрение предложенной технологии позволило улучшить качество очищенных сточных вод, уменьшить иловый индекс активного ила, повысить эффективность работы системы аэрации.

Ключевые слова: сточная вода, перемешивающее эрлифтное устройство, активный ил, система аэрации.

NEW TECHNOLOGY OF WASTE WATER BIOLOGICAL PURIFICATION STATIONS WORK INTENSIFICATION WITH AGITATION AIRLIFT DEVICES APPLICATION

S.Yu. Andreev, B.M. Grishin, I.A. Garkina, A.N.Koshev

The results of new technology of waste water biological purification stations work intensification with agitation airlift devices are given. The suggested technology introduction allows to improve purified waste water quality with activated sludge index decrease and air system work efficient rise.

Keywords: waste water, agitation airlift devices, activated sludge, air system.

Практика эксплуатации современных сооружений аэробной биологической очистки сточных вод показывает, что себестоимость процесса очистки на 60-80 % зависит от эффективности применяемой системы аэрации, являющейся наиболее энергоемким элементом очистных сооружений. В связи с этим оптимизация процессов расчета и эксплуатации аэрационных систем является весьма актуальной задачей.

В соответствии с одной из моделей системы аэрации скорость массопередачи кислорода, кг/с, из газовой фазы описывается уравнением [1]:

$$dm/dt = K_L A (C_H - C), \quad (1)$$

где K_L – коэффициент массопередачи жидкой пленки, м/с; A – площадь межфазового контакта, м²; C_H , C – соответственно концентрация насыщения жидкости газом и концентрация растворенного в жидкости газа, кг/м³.

Предполагается определять коэффициент массопередачи жидкой пленки по уравнению Хигби:

$$K_L = \sqrt{\frac{D_n \cdot V_n}{\pi \cdot d_n}}, \quad (2)$$

где D_n – коэффициент нестационарной диффузии кислорода газа в жидкость, м²/с; V_n – скорость всплывания пузырька воздуха, м/с; d_n – диаметр пузырька воздуха, м.

Формула Хигби описывает процесс нестационарной молекулярной диффузии через тонкую жидкостную пленку, часть поверхности которой движется вместе с набегающим на пузырек потоком жидкости. Описываемые формулой (2) процессы протекают при переходном режиме всплывания газового пузырька (переход от ламинарного режима к турбулентному). Пневматические системы аэрации тонкодиспергированным воздухом позволяют получить пузырьки диаметром d_n от $2,5 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ м (пузырьковый режим), в связи с чем для описания процесса массопередачи этих систем более корректно использовать формулу Данквертса. Теория Данквертса описывает турбулентный режим массопередачи ($d_n > 0,83 \cdot 10^{-3}$ м), при котором турбулентные вихри, зарождающиеся на поверхности пузырька воздуха, контактируют с ней в течение короткого промежутка времени, в результате чего происходит обновление поверхности границы раздела фаз.

В соответствии с теорией Данквертса:

$$K_L = \sqrt{D_T \cdot S}, \quad (3)$$

где D_T – коэффициент турбулентной диффузии, м²/с; S – фактор обновления поверхности раздела фаз, с⁻¹.

В своих работах Данквертс не предлагает какого-либо конкретного подхода для определения величины S . Одна из попыток определения численного значения S , исходя из анализа баланса энергий (термодинамический подход), сделана в [2]. Было высказано предположение, что процесс обновления поверхности раздела под действием турбулентных вихрей должен быть связан с работой, совершаемой на границе раздела фаз. Поскольку работа, совершаемая при обновлении поверхности, обусловлена наличием поверхностного натяжения, величина новой поверхности, образующейся в

единицу времени S, c^{-1} , за счет турбулентного обмена элементов жидкости на единице поверхности, может быть определена как

$$S = P/\sigma, \quad (4)$$

где $P = \zeta \rho V_n^3/2$ – работа, совершаемая на единице поверхности в единицу времени, Вт/м²; σ – коэффициент поверхностного натяжения, Дж/м².

Тогда

$$S = \zeta \rho V_n^3/2 \sigma, \quad (5)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³.

Поскольку S является величиной, обратной среднему значению времени экспозиции, и может быть интерпретирована как частота обновления поверхности, нами было предложено определять S не в виде отношения элементарной работы P к коэффициенту поверхностного натяжения σ , а как отношение секундной работы, совершаемой силами гидродинамического сопротивления A_T , Дж/с, к поверхностной энергии пузырька воздуха E , Дж:

$$\begin{aligned} A_T &= F_{г.с} \cdot \Delta l / \Delta T = F_{г.с} \cdot V_n \cdot \Delta T / \Delta T = F_{г.с} \cdot V_n = f_n \cdot \zeta \cdot (V_n^2 / 2) \cdot V_n = \\ &= f_n \cdot \zeta \cdot \rho \cdot V_n^3 / 2; \end{aligned} \quad (6)$$

$$E = \sigma_n \cdot S_n, \quad (7)$$

где $F_{г.с} = f_n \zeta \rho V_n^3/2$ – сила гидродинамического сопротивления, Н; Δl – расстояние, м, на которое перемещается пузырек воздуха за время ΔT , с; f_n – площадь поперечного сечения пузырька воздуха, м²; S_n – площадь поверхности пузырька воздуха, м².

Тогда

$$S = A_T / E = (f_n / S_n) \cdot \zeta \cdot \rho \cdot V_n^3 / 2 \cdot \sigma = \zeta \cdot \rho \cdot V_n^3 / 2 \cdot \sigma \cdot K_\phi, \quad (8)$$

где $K_\phi = S_n/f_n$ – коэффициент формы пузырька воздуха.

Предложенное уравнение (8) для вычисления значения фактора обновления границы раздела фаз всплывающего пузырька воздуха отличается от формулы (5) лишь наличием дополнительного коэффициента K_ϕ .

Введение коэффициента формы пузырька воздуха K_ϕ учитывает специфику сил поверхностного натяжения $F_{п.н}$ и гидродинамического сопротивления $F_{г.с}$. Силы гидродинамического сопротивления действуют на площадь поперечного сечения пузырька воздуха f_n , а силы поверхностного натяжения – на поверхность раздела фаз пузырька воздуха S_n .

С учетом равенства (8) формула (1) примет вид:

$$dm / dt = A \sqrt{D_T \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot V_n^3}{2 \cdot \sigma \cdot K_\phi}} \cdot (C_n - C). \quad (9)$$

Разделяя переменные и интегрируя уравнение (9) в интервале dm (от 0 до Δm) и dt (от 0 до ΔT), имеем:

$$\Delta m = A \sqrt{D_T \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot V_n^3}{2 \cdot \sigma \cdot K_\phi}} \cdot (C_n - C) \cdot \Delta T, \quad (10)$$

где Δm – масса растворившегося кислорода, кг; ΔT – время контакта воздуха с водой, с.

Для одиночного пузырька воздуха, имеющего площадь поверхности S_n и объем W_n , величина снижения концентрации кислорода ΔC , кг/м³, в газовой фазе будет описываться уравнением

$$\Delta C = \frac{\Delta m}{W_n} = \frac{S_n}{W_n} \cdot \sqrt{D_T \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot V_n^3}{2 \cdot \sigma \cdot K_\phi}} \cdot (C_n - C) \cdot \Delta T = \frac{1}{\delta_n} \cdot \sqrt{D_T \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot V_n^3}{2 \cdot \sigma \cdot K_\phi}} \cdot (C_n - C) \cdot \Delta T, \quad (11)$$

где $\delta_n = W_n/S_n$ – дисперсный размер пузырька воздуха, м.

Коэффициент использования кислорода воздуха $K_{и} = \Delta m/m_{к.в.}$, определяемый как отношение массы кислорода воздуха Δm , растворенного в воде, к массе кислорода воздуха $m_{к.в.}$, подаваемого в систему аэрации, может быть вычислен по формуле:

$$K_{и} = \frac{\Delta C}{C_{к.в.}} = \frac{1}{\delta_{п}} \cdot \sqrt{D_T \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot V_{п}^3}{2 \cdot \sigma \cdot K_{\phi}}} \cdot \frac{(C_{н} - C)}{C_{к.в.}} \cdot \Delta T, \quad (12)$$

где $C_{к.в.}$ – концентрация кислорода в воздухе, кг/м³.

Время контакта воздуха с водой в случае всплывания одиночного пузырька со скоростью $V_{п}$ в слое жидкости высотой H определяется по соотношению $\Delta T = H/V_{п}$.

Время контакта ΔT при одновременном всплывании группы пузырьков уменьшается из-за возникновения эрлифтного эффекта, приводящего к тому, что пузырьки всплывают в слое жидкости, движущейся вместе с пузырьками, и приближенно может быть вычислено по эмпирической зависимости:

$$\Delta T = H^{0,667}/V_{п}.$$

Тогда

$$K_{и} = \frac{\Delta C}{C_{к.в.}} = \frac{1}{\delta_{п}} \cdot \sqrt{D_T \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot V_{п}^3}{2 \cdot \sigma \cdot K_{\phi}}} \cdot \frac{(C_{н} - C)}{C_{к.в.}} \cdot \frac{H^{0,667}}{V_{п}}. \quad (13)$$

Зависимость (13) может быть использована для инженерных расчетов окислительной способности (ОС) пневматических систем аэрации с различной дисперсностью пузырьков воздуха:

$$ОС = K_{и} C_{к.в.} Q_{в}, \quad (14)$$

где $Q_{в}$ – расход воздуха, подаваемого в систему аэрации, м³/ч.

Как видно из формулы (13), увеличение глубины погружения аэраторов приводит к повышению эффективности работы пневматических систем аэрации.

Авторами была разработана конструкция вихревого эрлифтного устройства (ВЭУ), которое предлагается использовать в качестве пневматического перемешивающего устройства. ВЭУ устанавливается по центру аэротенка и создает в своем стволе закрученный восходящий поток иловой смеси.

Закручивание потока происходит за счет поступления иловой смеси по тангенциально присоединенному к стволу ВЭУ входному патрубку. Предусматривается подавать в ВЭУ до 10 % от общего расхода сжатого воздуха.

Мелкодисперсные пневматические аэраторы (штатная система аэрации) устанавливаются вдоль бортов аэротенка. Над штатной системой аэрации (за счет работы ВЭУ) создается закрученный нисходящий поток иловой смеси – реализуется принцип противоточной аэрации.

В связи с тем, что поток иловой смеси имеет не только вертикальную, но и тангенциальную (окружную) составляющую вектора скорости, процесс массопередачи значительно интенсифицируется.

Использование ВЭУ позволяет не только повысить эффективность системы пневматической аэрации, но и организовать более выгодный гидравлический режим в аэротенке без изменения его конструкции – режим ячеистого аэротенка.

В зоне действия каждого ВЭУ с шагом, равным ширине аэротенка, создаётся гидравлическая ячейка, в которой закрученный поток реализует режим аэротенка-смесителя. Между собой отдельные ячейки соединяются по принципу аэротенка-вытеснителя.

Создается гидравлический режим ячеистого аэротенка, позволяющий более плавно распределить нагрузку на активный ил по длине сооружения.

Таким образом, дополнительное оснащение коридорных аэротенков-вытеснителей, используемых для полной биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, вихревыми эрлифтными перемешивающими устройствами позволяет не только

существенно повысить эффективность штатной мелкопузырчатой аэрации, но и оптимизировать гидравлический режим аэротенка без изменения его конструкции.

Интенсификация процессов перемешивания иловой смеси и ее насыщения кислородом воздуха позволит не только повысить эффективность работы аэрационной системы, но и приведет к существенному улучшению седиментационных свойств активного ила.

Чем меньше значение илового индекса, тем лучше будут работать вторичные отстойники, вследствие чего в системе аэротенк-отстойник можно поддерживать большую дозу активного ила и обеспечить большую окислительную мощность аэрационного сооружения.

Хорошо оседающий активный ил имеет величину илового индекса в пределах 80-120 см³/г. Значение илового индекса определяется нагрузкой на активный ил [3].

Имеются многочисленные сведения о существенном снижении илового индекса в аэрационных сооружениях, использующих технический кислород.

Стадией, лимитирующей скорость переноса кислорода для биологических систем с хлопками активного ила, является этап, предусматривающий процессы массопередачи внутри хлопка активного ила.

В первом приближении можно принять концентрацию кислорода на поверхности хлопка активного ила равной средней концентрации в объеме аэрационного бассейна.

Тогда процесс передачи кислорода на поверхности хлопка активного ила к бактериальной клетке будет описываться уравнением, кг/с:

$$\frac{dm}{dt} = K_L A (C - C_k), \quad (15)$$

где C_k – концентрация кислорода на поверхности мембраны у бактериальной клетки, кг/м³.

Необходимую скорость массопередачи, кг/с, можно выразить через удельную нагрузку по органическим загрязнениям (БПК_{полн}) на 1 кг вещества активного ила q_y , кг/(кг·с) и энергетический коэффициент K_o , выражающий удельный расход кислорода на биохимическое окисление органических веществ, кг/кг:

$$\frac{dm}{dt} = q_y m_i K_o, \quad (16)$$

где m_i – масса активного ила в аэрационном бассейне, кг.

Для критического случая, когда концентрация кислорода у бактериальной клетки станет равной нулю ($C_k=0$), записываем:

$$K_L A C = q_y m_i K_o. \quad (17)$$

Согласно методу Колмогорова [4], для турбулентных пульсаций, имеющих масштаб λ , м, и величину удельной диссипации энергии ϵ_T , м²/с³, величина коэффициента турбулентной диффузии, м²/с, определяется по формуле

$$D_{td} = \epsilon_T^{1/3} \cdot \lambda^{4/3}. \quad (18)$$

Наиболее интенсивно процесс массопередачи будет происходить под действием нулевых турбулентных пульсаций, обладающих наибольшей энергией и имеющих минимальный масштаб:

$$\lambda_0 = \sqrt[4]{\frac{v_k^3}{\epsilon_T}},$$

где v_k – коэффициент кинематической вязкости межхлонового вещества хлопка ила, м²/с.

Тогда

$$D_{\text{тд}} = \epsilon_{\text{т}}^{1/3} \left(\frac{v_{\text{к}}^{3/4}}{\epsilon_{\text{т}}^{1/4}} \right)^{4/3} = \epsilon_{\text{т}}^{1/3} \cdot \frac{v_{\text{к}}}{\epsilon_{\text{т}}^{1/3}} = v_{\text{к}}. \quad (20)$$

Таким образом, коэффициент турбулентной диффузии можно в первом приближении принять равным величине коэффициента кинематической вязкости межклонового вещества хлопка ила $D_{\text{тд}} \approx v_{\text{к}}$.

Тогда из (15), (16) и (5) имеем

$$\sqrt{v_{\text{к}} S} AC = q_y m_{\text{и}} K_3, \quad \sqrt{v_{\text{к}}} = \frac{q_y m_{\text{и}} K_3}{AC \sqrt{S}}. \quad (21)$$

$$\text{Поскольку } v_{\text{к}} = \frac{\mu_{\text{к}}}{\rho_{\text{к}}},$$

где $\mu_{\text{к}}$ – динамический коэффициент вязкости межклонового вещества хлопка ила, Па·с; $\rho_{\text{к}}$ – плотность межклонового вещества хлопка ила, кг/м³.

$$\sqrt{\frac{\mu_{\text{к}}}{\rho_{\text{к}}}} = \frac{q_y m_{\text{и}} K_3}{AC \sqrt{S}},$$

$$\text{откуда } \rho_{\text{к}} = \left(\frac{AC \sqrt{S \mu_{\text{к}}}}{q_y m_{\text{и}} K_3} \right)^2. \quad (22)$$

С учетом того, что отношение площади контакта фаз A , м², к массе активного ила $m_{\text{и}}$, кг, является удельной площадью контакта фаз $F_m = \frac{A}{m_{\text{и}}}$, м²/кг, имеем

$$\rho_{\text{к}} = \left(\frac{F_m C \sqrt{S \mu_{\text{к}}}}{q_y K_3} \right)^2. \quad (23)$$

Анализ формулы (23) показывает, что снижение концентрации кислорода C в иловой смеси при неизменных значениях параметров $q_y; K_3; F_m; S; \mu_{\text{к}}$ должно сопровождаться снижением плотности хлопка активного ила, т.е. повышением величины илового индекса. С другой стороны, повышение концентрации кислорода в иловой смеси должно сопровождаться увеличением плотности ила, т.е. уменьшением величины илового индекса.

О существенном снижении илового индекса при использовании в системах аэрации технического кислорода свидетельствует многочисленный опыт эксплуатации окситенков. Улучшение седиментационных характеристик активного ила позволяет поддерживать концентрацию ила в аэрационном бассейне окситенков на уровне 6-9 г/л, в то время как в аэротенках она не превышает 2-4 г/л [3].

Транспорт кислорода внутрь хлопка активного ила происходит значительно медленнее, чем перенос органического субстрата, так как градиент концентраций кислорода в хлопке на порядок меньше, чем градиент концентраций органического субстрата. При уменьшении концентрации кислорода в иловой смеси хлопок активного ила испытывает острый недостаток кислорода. Адаптационной реакцией на кислородное голодание является увеличение илового индекса и снижение плотности хлопка ила.

Как перегрузка, так и недогрузка активного ила по органическим загрязнениям (помимо прочих фактов) приводят к резкому увеличению илового индекса, называемому «вспуханием» ила и повышенному выбросу его с очищенной водой из вторичных отстойников.



Рис. 1. Общий вид вихревых эрлифтных устройств (ВЭУ)

Таким образом, можно рассматривать насыщение иловой смеси кислородом с одновременным ее перемешиванием не только как прием, интенсифицирующий процессы биохимического окисления, но и как способ, позволяющий улучшить седиментационные свойства иловой смеси.

Производственное внедрение технологии перемешивания аэрационного объема аэротенков вихревыми эрлифтными устройствами проводилось на канализационных очистных сооружениях производительностью 2800 м³/сут в г. Кузнецк-12 Пензенской области. С целью интенсификации работы аэрационной системы и обеспечения эффективного перемешивания аэрационного объема в аэротенках были установлены вихревые эрлифтные устройства (ВЭУ).

Общий вид ВЭУ представлен на рис. 1.

Биологическая очистка сточных вод на канализационных очистных сооружениях г. Кузнецк-12 осуществлялась в аэротенках-вытеснителях, построенных в соответствии с ТП 902-03-15. Общий вид аэротенка с установленным ВЭУ показан на рис. 2.



Рис.2. Общий вид аэротенка с установленным ВЭУ

В связи с уменьшением расхода сточных вод, подаваемых на канализационные очистные сооружения, с проектных 4200 м³/сут до 2800 м³/сут эксплуатировались только две секции блока емкостей из четырех существующих.

Внедрение технологии перемешивания иловой меси вихревыми эрлифтными устройствами на КОС г.Кузнецк-12 позволило повысить эффективность биологической очистки сточных вод и существенно улучшить седиментационные свойства активного ила.

Основное поступление сжатого воздуха (90 %) от общего расхода осуществлялось на штатную систему тонкого диспергирования воздуха. Подача 10 % от общего расхода сжатого воздуха на ВЭУ позволила организовать интенсивное перемешивание аэрационного объема, повысить эффективность работы пневматической системы аэрации и снизить удельный расход воздуха, поступающего в аэротенк, с 8,1 до 6,3 м³/м³. Показатели массообменных характеристик систем аэрации до и после реконструкции представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Показатели массообменных характеристик систем аэрации
до и после проведения реконструкции

Вид системы аэрации	Объемный коэффициент массопередачи кислорода в жидкость $K_{La}, \text{ч}^{-1}$	Интенсивность аэрации $J, \text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Удельный расход воздуха, подаваемого в систему аэрации, $Q_{\text{вв}}, \text{м}^3/\text{м}^3$	Коэффициент использования кислорода воздуха $K_{\text{и}}$	Эффективность системы аэрации $\Delta, \text{кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$
Пневматическая система аэрации до реконструкции	6,1	5,8	9,9	0,12	1,9
Комбинированная система аэрации после реконструкции	6,1	4,1	7,0	0,17	2,7

Результаты, полученные от внедрения технологии перемешивания иловой смеси аэротенков на КОС г. Кузнецк-12 Пензенской области, представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Результаты внедрения технологии перемешивания иловой смеси вихревыми эрлифтными устройствами на КОС г. Кузнецк-12

№ п/п	Среднемесячные показатели	Концентрация загрязнений в сточных водах, поступающих на КОС, мг/л	Концентрация загрязнений в сточных водах на выходе с КОС до реконструкции, мг/л	Концентрация загрязнений в сточных водах на выходе с КОС после реконструкции, мг/л
1	Взвешенные вещества	140	14	10
2	БПК _{пол}	210	17	9
3	ХПК	250	32	25
4	NH ₄ ⁺	0,18	2,1	0,6
5	PO ₄ ³⁻	7	3,2	1,4
6	Иловый индекс, см ³ /г		170	115

Выводы:

1. Эффективность пневматических систем аэрации аэротенков зависит от продолжительности контакта пузырьков с жидкостью. Повысить продолжительность контакта пузырьков с жидкостью можно за счет увеличения глубины аэротенка или организации режима противотока всплывающего пузырька и нисходящего потока иловой смеси.

2. Вихревое эрлифтное устройство (ВЭУ) позволяет эффективно перемешивать иловую смесь в аэротенках и организовать режим противотока.

3. Технология комбинированной аэрации иловой смеси аэротенков, предусматривающая совместное использование мелкопузырчатых пневматических аэраторов и перемешивающих ВЭУ, внедрена на промышленных сооружениях биологической очистки г. Кузнецк-12 Пензенской области производительностью 2800 м³/сут. Внедрение предложенной технологии позволило повысить эффективность пневматической системы аэрации в 1,4 раза, уменьшить иловый индекс со 170 до 115 см³/г, повысить эффективность биологической очистки сточных вод.

Список литературы

1. Мешенгиссер, Ю. М. Моделирование процесса массопередачи при аэрации воды / Ю.М. Мешенгиссер, Ю. Г. Марченко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2000. – № 6.
2. Брагинский, Л. Н. Моделирование аэрационных сооружений очистки сточных вод / Л.Н. Брагинский, М. А. Евилевич. – Л.: Химия, 1980.
3. Яковлев, С.В. Водоотведение и очистка сточных вод / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, В.И. Калицун. – М.: Стройиздат, 1996.
4. Кутателадзе, С.Е. Гидродинамика газожидкостных систем / С.Е. Кутателадзе, М.А. Стырикович. – М.: Энергия, 1976.

References

1. Meshengisser, Yu.M. Modelling of mass transfer process under water aeration / Yu.M. Meshengisser, Yu.G. Marchenko // Water supply and sanitary engineering. – 2000. – №6.
2. Braginsky, L.N. Modelling of waste water purification aeration station / L.N. Braginsky, M.A. Evilevich. – L.: Chemistry, 1980.
3. Yakovlev, S.V. Water removal and waste water purification / S.V.Yakovlev, Ya.A. Karelin, Yu. M. Laskov, V.I. Kalitsun. – M.: Building publishing house, 1996.
4. Kutateladze, S.E. Hydrodynamics of gas and water systems / S.E. Kutateladze, M.A. Stryrikovich. – M.: Energy, 1976.

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

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.

Андреев Сергей Юрьевич,
доктор технических наук,
профессор кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
Тел. 92-95-08 (доп. 11-88)

Ласьков Николай Николаевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»
Тел. 48-27-37

Камбург Владимир Григорьевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Прикладная математика
и информатика»
Тел.: 48-27-37
E-mail: pmi@pguas.ru.

Демидочкин Виталий Васильевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
Тел.: 48-74-76

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

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

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

Laskov Nikolay Nikolaevich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Building constructions»
Tel.: 48-27-37

Kamburg Vladimir Grigoryevich,
Doctor of Science, Professor,
Head of the department «Applied
mathematics and information»;
Tel.: 48-27-37
E-mail: pmi@pguas.ru.

Demidochkin Vitaliy Vasilyevich,
Candidat of Science, Associate Professor
of the department «Water supply, sewerage
and hydraulic engineering»
Tel.: 95-92-08 (доп. 11-88)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛОТАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИХРЕВЫХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Б.М. Гришин, С.Ю. Андреев, Н.Н. Ласьков, В.Г. Камбург, В.В. Демидочкин

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований флотационной очистки нефтесодержащих производственных сточных вод с использованием вихревых смесительных устройств (ВСУ). Доказано, что применение ВСУ позволяет улучшить эффективность удаления нефтепродуктов на флотаторе при существенном сокращении расхода реагентов.

Ключевые слова: производственные сточные воды, нефтесодержащие примеси, реагентная флотационная очистка, вихревые смесительные устройства.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF OIL CONTAINING INDUSTRIAL WASTE WATER FLOTATION PURIFICATION WITH VORTEX MIX DEVICES APPLICATION

B.M. Grishin, S.Yu. Andreev, N.N. Laskov, V.G. Kamburg, V.V. Demidochkin

The results of theoretical and experimental investigations of oil containing industrial waste water flotation purification with vortex mix devices (VMD) application are given. Improvement of oil pollutions removal efficiency on flotation plant operator with VMD application and rate of reagents decrease is confirmed.

Keywords: industrial waste water, oil contained pollutions, reagent flotation purification, vortex mix devices.

Одним из наиболее эффективных методов очистки промышленных нефтесодержащих стоков является метод флотации, который реализуется с использованием аппаратов и установок различных конструкций. Существенным фактором, влияющим на степень флотационной очистки сточных вод, является способ приготовления газожидкостной смеси, подаваемой во флотатор. Разработка смесителей нового типа, создающих водовоздушную смесь требуемого газонасыщения и дисперсного состава, позволяет экономично и эффективно осуществлять процесс флотации.

В качестве таких смесителей могут быть использованы компактные вихревые смесительные устройства (ВСУ) трубчатого типа, простые в эксплуатации и не требующие значительных затрат при изготовлении.

Конструктивное оформление ВСУ было достаточно подробно рассмотрено в работах авторов [1, 2]. ВСУ первой ступени представляет собой вихревой эжектор, а ВСУ второй ступени – коаксиальную систему «труба в трубе» с вращательно-поступательным движением водовоздушной смеси. Такая система позволяет существенно увеличить вероятность контакта пузырьков со стенками труб при высоких числах Рейнольдса, обеспечиваемых большими значениями окружной скорости движения газожидкостной смеси, что приводит к интенсификации процесса диспергирования водовоздушной смеси.

Для определения влияния степени диссипации энергии в трубчатом смесителе на средний диаметр диспергируемых пузырьков воздуха можно воспользоваться формулой [3]

$$d_{п} \approx 0,43 \left(\frac{\sigma}{\rho_{ж}} \right)^{0,6} \epsilon_0^{-0,4}, \quad (1)$$

где ϵ_0 – среднее значение мощности, рассеиваемой в единице массы перемешиваемой среды, Вт/кг или $\text{м}^2/\text{с}^3$; $\rho_{ж}$ – плотность жидкой фазы, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Величина ϵ_0 связана с потерями напора Δh в смесителе соотношением

$$\epsilon_0 = \frac{Q_c g \Delta h}{V_c} = \frac{Q_c \Delta p}{\rho_c V_c}, \quad (2)$$

где Q_c – расход газожидкостной смеси, $\text{м}^3/\text{с}$; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; Δp – потери давления в смесителе, Па; V_c – объем трубчатого смесителя, м^3 .

Так как в расчетах гидравлических смесителей должны учитываться как местные потери напора, так и потери по длине, то можно записать:

$$\Delta h = \left(\sum \xi_m + \xi_{дл} \right) \frac{v_a^2}{2g}, \quad (3)$$

где v_a – скорость относительного движения потока, $\text{м}/\text{с}$; $\sum \xi_m$ – сумма местных сопротивлений в смесителе; $\xi_{дл}$ – коэффициент потерь по длине.

Тогда с учетом последнего выражения формула (2) приобретает вид

$$\epsilon_0 = \frac{Q_c}{V_c} \left(\sum \xi_m + \xi_{дл} \right) \frac{v_a^2}{2} = \left(\sum \xi_m + \xi_{дл} \right) \frac{v_a^2}{2t_c}, \quad (4)$$

где t_c – время смешения, с.

Величины $\sum \xi_m$ и $\xi_{дл}$ должны определяться гидравлическим расчетом для каждого типа смесителя. Интенсивность перемешивания водовоздушного потока в смесителе оценивается градиентом скорости G , с^{-1} , определяемым по формуле

$$G = \sqrt{\frac{E}{t_c \cdot V_c \cdot \rho_c \cdot v_c}}, \quad (5)$$

где E – энергия, затрачиваемая на перемешивание, Дж.

Значение энергии для трубчатых смесителей находится из выражения

$$E=Q_c \cdot \rho_c \cdot g \cdot \Delta h \cdot t_c. \quad (6)$$

Тогда, с учетом формул (3), (4) и (6),

$$G = \sqrt{\frac{Q_c}{2V_c \cdot v_c} (\sum \xi_m + \xi_{дл}) v_a^2},$$

или

$$G = \sqrt{\frac{(\sum \xi_m + \xi_{дл}) v_a^2}{2t_c \cdot v_c}} = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{v_c}}. \quad (7)$$

С учетом (7) формула (1) для определения среднего диаметра пузырьков воздуха в гидросмеси будет выглядеть в следующем виде:

$$d_{п}=0,43 \left(\frac{\sigma}{\rho_{ж}} \right)^{0,6} \cdot (G^2 \cdot v_c)^{-0,4}. \quad (8)$$

Таким образом, задавая конструктивные размеры трубчатого смесителя второй ступени и технологические параметры обработки водовоздушной смеси, можно с высокой точностью определить степень дисперсности полученных пузырьков воздуха. Как показали теоретические исследования авторов, значения диссипации энергии в пристеночных областях коаксиальных труб для смесителей, покрытых эмалью, обеспечивают более высокий эффект диспергирования пузырьков воздуха по сравнению с гидропневмобакками (сатураторами), широко применяемыми во флотационных установках.

Для исследования влияния параметров обработки водовоздушной смеси в ВСУ с эмалевыми покрытиями на эффективность работы флотатора и экономию реагентов были проведены лабораторные исследования.

Объектом лабораторных исследований являлись производственные сточные воды ОАО «Пензадизельмаш», поступающие после нефтеловушки на станцию флотационной очистки. Производственные стоки характеризовались следующим составом:

– нефтепродукты	12–31 мг/л;
– взвешенные вещества	28–55 мг/л;
– рН	6,8–7,1.

В качестве коагулянта в экспериментах по флотационной очистке стоков использовался полиоксихлорид алюминия (ПОХА) с содержанием активной части 18 %, применяющийся на производственных флотаторах в качестве основного реагента. Для улучшения эффекта удаления загрязнений после ввода коагулянта в сточную воду добавлялся катионный органический флокулянт К-555 с дозами 4–5 мг/л.

Лабораторная установка флотационной очистки нефтесодержащих сточных вод была смонтирована на очистной станции промстоков ОАО «Пензадизельмаш».

Экспериментальная флотационная установка (рис. 1) состояла из флотационной колонны 1 общей высотой 2,2 м, сатуратора 2 емкостью 0,017 м³, вихревых смесительных устройств (ВСУ) первой 3 и второй 4 ступеней (высотой ствола 1,2 м), приемного бака 5, центробежного насоса 6, компрессора 8, насосов-дозаторов коагулянта 17 и флокулянта 18. В состав установки также входили трубопроводы, контрольно-измерительная и запорная арматура, вспомогательные емкости. Отбор исходного стока осуществлялся в приемный бак 5 из трубопровода, подающего нефтесодержащие сточные воды на промышленные флотаторы. Далее насосом 6 производительностью 1,5 м³/ч и напором до 50 м стоки подавались на устройства для приготовления водовоздушной смеси – гидропневмобак 2 или ВСУ 3 и 4. Данные устройства работали поочередно за счет закрытия вентилей на напорных трубопроводах 9 и 9'. Расход

сточной воды, подаваемой на гидропневмобак 2, составлял $0,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ за счет открытия вентиля на байпасной линии 7 и создания циркуляции большей части потока. Одновременно от компрессора 8 по трубопроводу $10'$ в сатуратор 2 подавался воздух с давлением до $4,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Время насыщения воды воздухом находилось в пределах 10 мин. Излишек сжатого воздуха удалялся через клапан 20, давление в гидропневмобаке контролировалось манометром 16. Дросселирование водовоздушной смеси осуществлялось вентилем, установленным на трубопроводе 11 в непосредственной близости от флотационной колонны 1. Степень насыщения воды воздухом составляла 3,5–4 %. Раствор коагулянта подавался насосом-дозатором 17 в трубопровод подачи исходного стока перед устройствами для приготовления водовоздушной смеси.

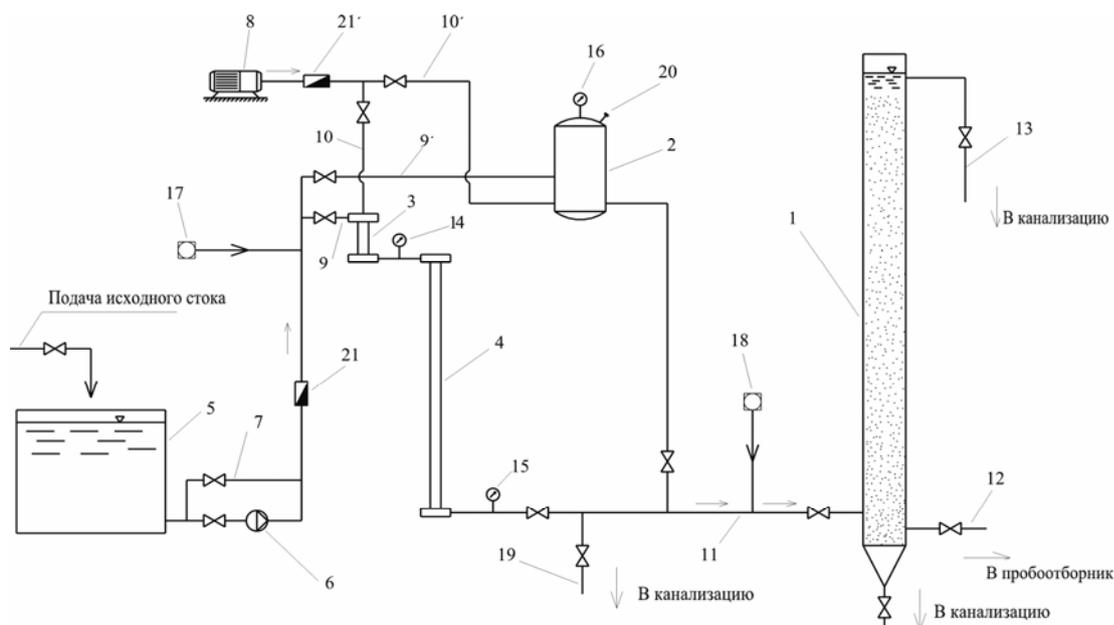


Рис. 1. Схема лабораторной флотационной установки:

- 1 – флотационная колонна; 2 – сатуратор; 3, 4 – ВСУ первой и второй ступеней; 5 – приемный бак; 6 – насос; 7 – байпасная линия; 8 – компрессор; 9, 9' – напорные трубопроводы исходного стока; 10, 10' – трубопроводы сжатого воздуха; 11 – трубопровод водовоздушной смеси; 12 – патрубок отбора осветленной воды; 13 – трубопровод отвода флотошлама; 14, 15, 16 – манометры; 17 – насос-дозатор коагулянта; 18 – насос-дозатор флокулянта; 19 – патрубок сброса водовоздушной смеси; 20 – клапан сброса воздуха; 21, 21' – расходомеры

При исследовании работы ВСУ открывалась задвижка на трубопроводе 9 и при закрытой задвижке на байпасной линии 7 сточная вода насосом 6 с расходом $1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ подавалась в ВСУ первой ступени 3. Туда же поступал сжатый воздух от компрессора 8 по трубопроводу 10. Соотношение расходов воды и воздуха составляло от 8:1 до 12:1 и контролировалось расходомерами 21 и 21'. Водовоздушная смесь после первичного смешения направлялась в ВСУ второй ступени 4 и далее по трубопроводу 11 с расходом $0,11 \text{ м}^3/\text{ч}$ поступала во флотационную колонну. Излишек расхода водовоздушной смеси, выходящей из ВСУ (приблизительно $1,4 \text{ м}^3/\text{ч}$), сбрасывался в канализацию через патрубок 19. Перепад давлений на ВСУ второй ступени поддерживался в пределах $3,7 - 3,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$ за счет вентиля, установленных на трубопроводах 9, 11 и контролировался манометрами 14 и 15.

Водовоздушная смесь, полученная в сатураторе или ВСУ непосредственно перед флотационной колонной, смешивалась с раствором флокулянта К-555, подаваемого насосом-дозатором 18. Флотационный объем колонны 1 при диаметре $0,15 \text{ м}$ составлял $0,035 \text{ м}^3$, время флотации – 20 мин. Приведенный к поверхности выделения флотатора расход был равен $5,6 - 5,7 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$. Образующийся в процессе работы колон-

ны 1 флотошлам через патрубок 13 сбрасывался в канализацию, осветленная вода через патрубок 12 отбиралась для проведения химических анализов.

Программа экспериментов предусматривала добавление в исходную воду раствора коагулянта, насыщение воды воздухом в сатураторе либо в ВСУ первой и второй ступеней, обработку водовоздушной смеси флокулянтom с постоянной дозой 5 мг/л и флотационную очистку воды от загрязнений в лабораторной колонне. В каждом эксперименте производился отбор проб очищенной воды для определения остаточных концентраций загрязняющих веществ. В лабораторных исследованиях решались следующие задачи:

1. Определение зависимости флотационной очистки промышленных сточных вод по нефтепродуктам и взвешенным веществам от доз коагулянта при использовании водовоздушной смеси со степенью газонасыщения 3,5–4 %, полученной в гидропневмобаке (сатураторе).

2. Определение зависимости глубины флотационной очистки сточных вод по нефтепродуктам и взвешенным веществам от доз коагулянта и степени газонасыщения водовоздушной смеси, полученной в ВСУ первой и второй ступеней.

Зависимости остаточных концентраций нефтепродуктов и взвешенных веществ от доз коагулянта ПОХА после флотационной очистки в течение 20 мин с использованием водовоздушной смеси с газонасыщением 3,5–4 %, приготовленной в сатураторе, показаны на рис. 2–3. Доза флокулянта К-555 во всех опытах составляла $D_{\phi}=5$ мг/л.

При исходной концентрации нефтепродуктов в сточной воде $C_{\text{вх}}=15$ мг/л их остаточные значения $C_{\text{вых}}$ в очищенной воде снижались с 4,25 до 2,15 мг/л с увеличением дозы коагулянта от 10 до 40 мг/л (рис. 2, кривая 1). Эффективность очистки для данного диапазона доз коагулянта изменялась соответственно от 71,7 до 85,7 %. При начальной концентрации $C_{\text{вх}}=30$ мг/л остаточное содержание нефтепродуктов в очищенной воде снижалось с 6,4 до 3,0 мг/л при увеличении дозы коагулянта от 10 до 40 мг/л (рис. 2, кривая 2) с соответствующим изменением эффективности очистки от 78,7 до 90 %.

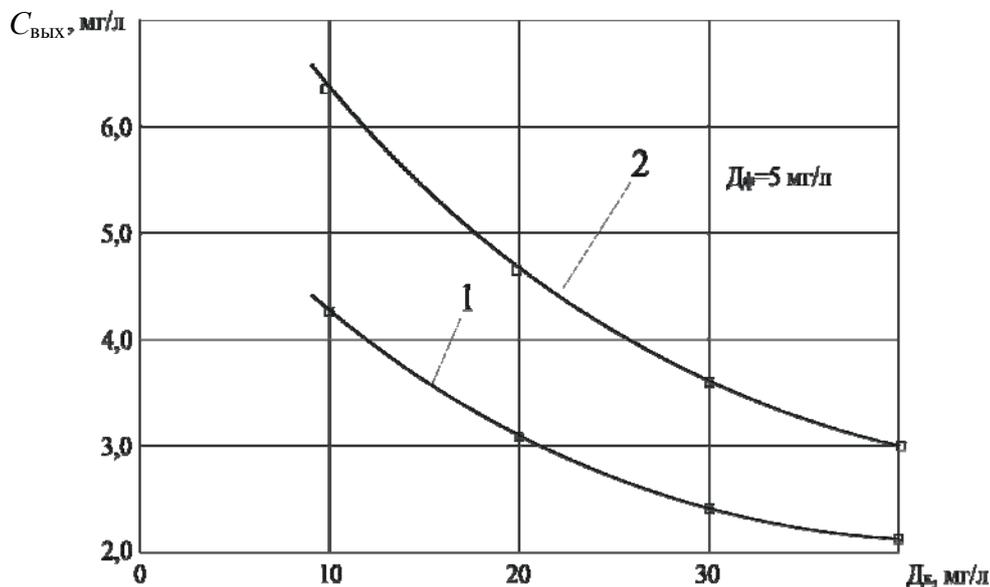


Рис. 2. Зависимости остаточных концентраций $C_{\text{вых}}$ нефтепродуктов в стоках от доз коагулянта D_k после флотации водовоздушной смесью, приготовленной в сатураторе при начальных концентрациях:
1 – $C_{\text{вх}}=15$ мг/л; 2 – $C_{\text{вх}}=30$ мг/л

При исходной концентрации взвешенных веществ в сточной воде $C_{\text{вх}}=30$ мг/л их остаточные загрязнения $C_{\text{вых}}$ в очищенной воде снижались с 18,7 до 11,2 мг/л при увеличении дозы коагулянта от 10 до 40 мг/л (рис. 3, кривая 1). Эффективность очистки для данного диапазона доз коагулянта изменялась соответственно от 37,7 до 62,7 %.

При начальной концентрации $C_{\text{вх}}=50$ мг/л остаточное содержание взвешенных веществ в очищенной воде снижалось с 28,1 до 16,8 мг/л при увеличении дозы коагулянта от 10 до 40 мг/л (рис. 3, кривая 2) с соответствующим изменением эффекта очистки от 43,8 до 66,4 %.

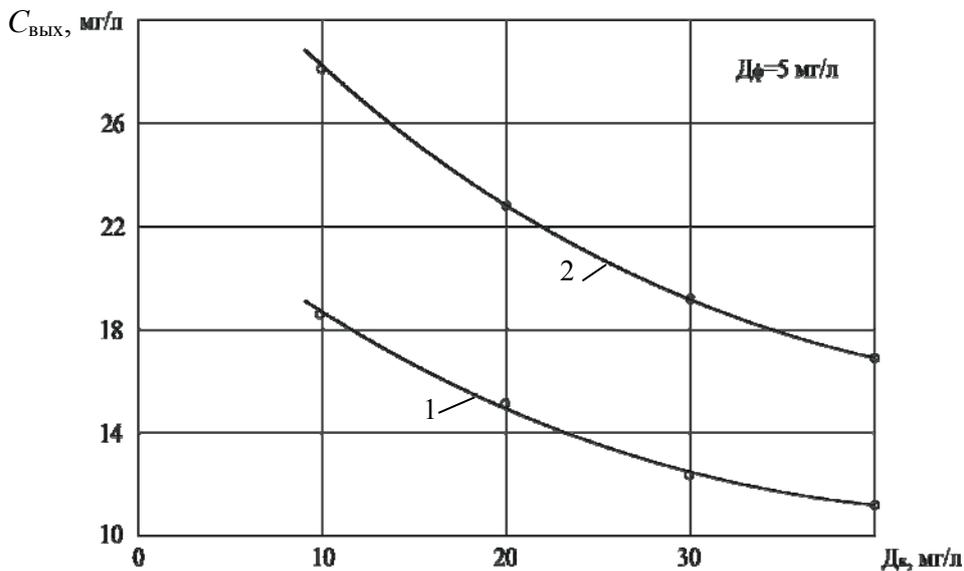


Рис. 3. Зависимости остаточных концентраций $C_{\text{вых}}$ взвешенных веществ в стоках от доз коагулянта D_k после флотации водовоздушной смесью, приготовленной в сатураторе при начальных концентрациях:
1 — $C_{\text{вх}}=30$ мг/л; 2 — $C_{\text{вх}}=50$ мг/л

Зависимости остаточных концентраций нефтепродуктов и взвешенных веществ от доз коагулянта ПОХА после флотационной очистки в течение 20 мин с использованием водовоздушной смеси с газонасыщением 8-12 %, приготовленной в ВСУ первой и второй ступеней, показаны на рис. 4-5.

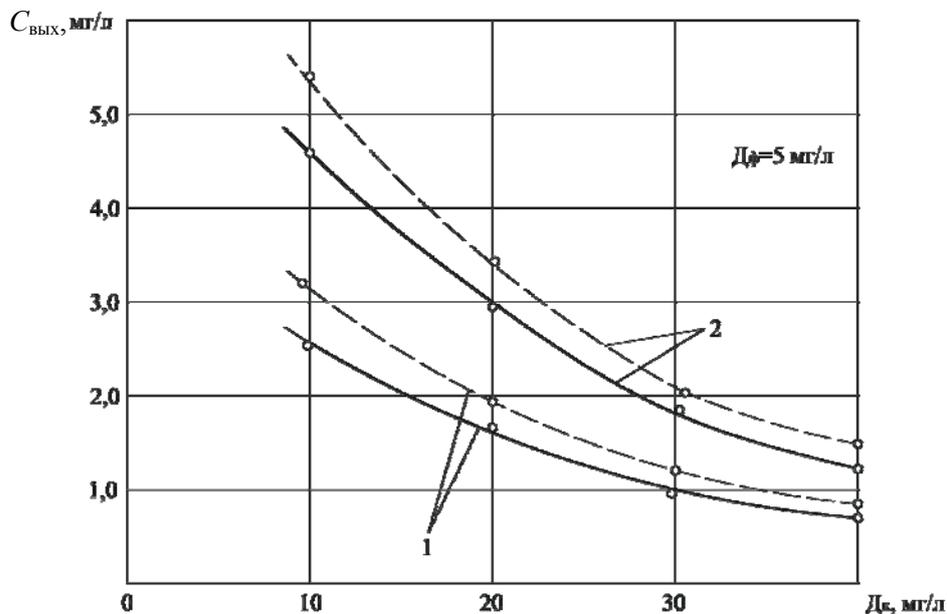


Рис. 4. Зависимости остаточных концентраций $C_{\text{вых}}$ нефтепродуктов в стоках от доз коагулянта D_k после флотации водовоздушной смесью, приготовленной в ВСУ при начальных концентрациях:
1 — $C_{\text{вх}}=15$ мг/л; 2 — $C_{\text{вх}}=30$ мг/л;
----- — при $\phi=8\%$; ————— — при $\phi=12\%$

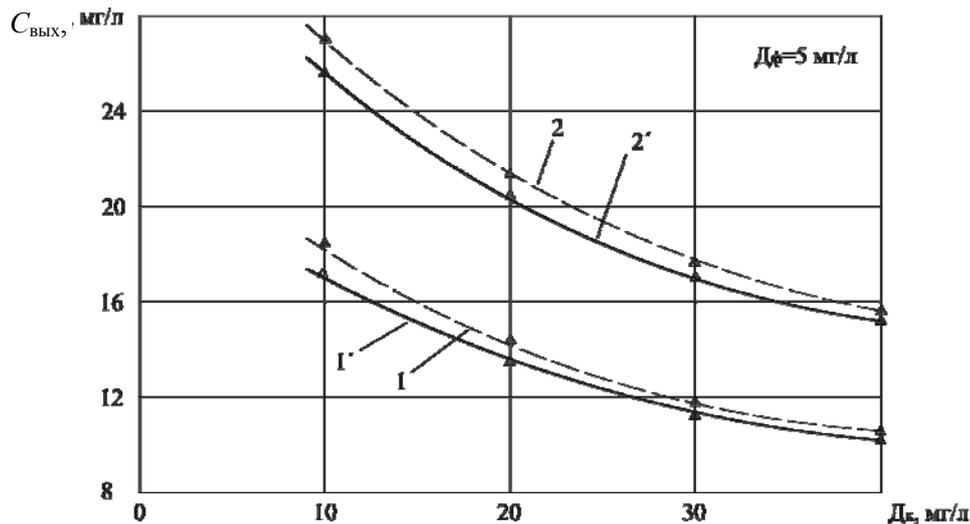


Рис. 5. Зависимости остаточных концентраций $C_{\text{вых}}$ взвешенных веществ в стоках от доз коагулянта $D_{\text{к}}$ после флотации водовоздушной смесью, приготовленной в гидропневмобаче при начальных концентрациях 1 – $C_{\text{вх}}=30$ мг/л; 2 – $C_{\text{вх}}=50$ мг/л
 ----- при $\phi=8$ %; ————— при $\phi=12$ %

Для исходной концентрации нефтепродуктов в сточной воде $C_{\text{вх}}=15$ мг/л их остаточные значения $C_{\text{вых}}$ в очищенной воде снижались с 3,3 мг/л до 0,87 мг/л с увеличением дозы коагулянта от 10 до 40 мг/л при газонасыщении водовоздушной смеси во флотаторе $\phi=8$ %, и в том же диапазоне изменения доз коагулянта значения $C_{\text{вых}}$ снижались с 2,86 до 0,73 мг/л при $\phi=12$ % (рис. 4, кривые 1 и 1'). Эффективность очистки при увеличении $D_{\text{к}}$ от 10 до 40 мг/л изменялась соответственно от 78 до 94,2 % для $\phi=8$ % и от 80,9 до 95,1 % для $\phi=12$ %. При начальной концентрации $C_{\text{вх}}=30$ мг/л остаточное содержание $C_{\text{вых}}$ нефтепродуктов в очищенной воде снижалось с 4,93 до 1,5 мг/л с увеличением дозы коагулянта от 10 до 40 мг/л при газонасыщении водовоздушной смеси во флотаторе $\phi=8$ % и в том же диапазоне изменения доз коагулянта значения $C_{\text{вых}}$ снижались с 4,28 до 1,25 мг/л при $\phi=12$ % (рис. 4, кривые 2 и 2'). Эффективность очистки по нефтепродуктам при увеличении $D_{\text{к}}$ от 10 до 40 мг/л изменялась соответственно от 83,6 до 95,0 % для $\phi=8$ % и от 85,7 до 95,8 % для $\phi=12$ %.

Для исходной концентрации взвешенных веществ в сточной воде $C_{\text{вх}}=30$ мг/л их остаточные загрязнения $C_{\text{вых}}$ в очищенной воде снижались с 17,9 до 10,6 мг/л с увеличением дозы коагулянта от 10 до 40 мг/л при газонасыщении водовоздушной смеси во флотационной колонне $\phi=8$ %, и в том же диапазоне изменения доз коагулянта значения $C_{\text{вых}}$ снижались с 16,9 до 10,2 мг/л при $\phi=12$ % (рис. 5, кривые 1 и 1'). Эффективность очистки при увеличении $D_{\text{к}}$ от 10 до 40 мг/л изменялась соответственно от 40,3 до 64,7 % для $\phi=8$ % и от 43,7 до 66 % для $\phi=12$ %. При начальной концентрации $C_{\text{вх}}=50$ мг/л остаточное содержание $C_{\text{вых}}$ взвешенных веществ в очищенной воде снижалось с 26,9 до 15,6 мг/л с увеличением дозы коагулянта от 10 до 40 мг/л при газонасыщении водовоздушной смеси во флотационной колонне $\phi=8$ %, и в том же диапазоне изменения доз коагулянта значения $C_{\text{вых}}$ снижались с 25,7 мг/л до 15 мг/л при $\phi=12$ % (рис. 5, кривые 2 и 2'). Эффективность очистки по нефтепродуктам при увеличении $D_{\text{к}}$ от 10 до 40 мг/л изменялась соответственно от 83,6 до 95,0 % для $\phi=8$ % и от 85,7 до 95,8 % для $\phi=12$ %.

Для исходной концентрации взвешенных веществ в сточной воде $C_{\text{вх}}=30$ мг/л их остаточные загрязнения $C_{\text{вых}}$ в очищенной воде снижались с 17,9 до 10,6 мг/л с увеличением дозы коагулянта от 10 до 40 мг/л при газонасыщении водовоздушной смеси во флотационной колонне $\phi=8$ %, и в том же диапазоне изменения доз коагулянта значения $C_{\text{вых}}$ снижались с 16,9 до 10,2 мг/л при $\phi=12$ % (рис. 5, кривые 1 и 1'). Эффективность очистки при увеличении $D_{\text{к}}$ от 10 до 40 мг/л изменялась соответственно от 40,3 до 64,7 % для $\phi=8$ % и от 43,7 до 66 % для $\phi=12$ %. При начальной концентрации $C_{\text{вх}}=50$ мг/л остаточное содержание $C_{\text{вых}}$ взвешенных веществ в очищенной воде сни-

жалось с 26,9 до 15,6 мг/л с увеличением дозы коагулянта от 10 до 40 мг/л при газонасыщении водовоздушной смеси во флотационной колонне $\varphi=8\%$, и в том же диапазоне изменения доз коагулянта значения $C_{\text{вых}}$ снижались с 25,7 до 15 мг/л при $\varphi=12\%$ (рис. 5, кривые 1 и 2'). Эффективность очистки по взвеси при увеличении D_k от 10 до 40 мг/л изменялась соответственно от 46,2 до 68,8 % для $\varphi=8\%$ и от 48,6 до 70 % для $\varphi=12\%$.

Таким образом, за счет более высокого газонасыщения водовоздушной смеси на флотационной колонне в лабораторных опытах с использованием ВСУ удалось достичь более высокого эффекта очистки по нефтепродуктам и взвешенным веществам по сравнению с экспериментами, в которых для приготовления водовоздушной смеси применялся гидропневмобак. Эффект очистки производственных стоков от нефтепродуктов при использовании водовоздушной смеси из гидропневмобака с дозами ПОХА $D_k=40$ мг/л был таким же, как и в случае использования во флотационной колонне водовоздушной смеси, полученной после ВСУ с дозами коагулянта $D_k=18...22$ мг/л при $\varphi=8\%$ и $D_k=16...18$ мг/л при $\varphi=12\%$. Эффект очистки сточных вод от взвешенных веществ при использовании водовоздушной смеси из гидропневмобака с дозами ПОХА $D_k=40$ мг/л был равен эффекту очистки при использовании во флотаторе водовоздушной смеси, полученной после ВСУ с дозами коагулянта $D_k=33...35$ мг/л при $\varphi=8\%$ и $D_k=30...33$ мг/л при $\varphi=12\%$.

Выводы

1. Получены расчетные формулы для нахождения технологических и конструктивных параметров работы ВСУ второй ступени, обеспечивающих требуемую степень диспергирования воздушных пузырьков при заданных реологических характеристиках гидросмеси.

2. Вихревые смесительные устройства (ВСУ) за счет обеспечения более высокого газонасыщения водовоздушной смеси и диспергирования воздушных пузырьков по сравнению с гидропневмобаком позволяют улучшить в среднем на 5–7 % эффективность флотационной очистки сточных вод от нефтепродуктов и взвешенных веществ.

3. Для обеспечения на флотаторе эффекта очистки по нефтепродуктам, равного 90 %, использование водовоздушной смеси, приготовленной в ВСУ, позволяет сократить более чем в 2 раза требуемые дозы коагулянта по сравнению с технологией напорной флотации.

Список литературы

1. Андреев, С.Ю. Исследование вихревых смесительных устройств с эмалевыми покрытиями для интенсификации работы флотационных установок / С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, Л.Б. Гришин // Известия вузов. Строительство. – 2008. – № 11–12.

2. Андреев, С.Ю. Флотационная очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий машиностроительного профиля с применением эмалированных вихревых смесительных устройств / С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, И.Б. Ширшин, А.А. Петрунин // Совершенствование работы систем водоснабжения и водоотведения населенных пунктов и промышленных предприятий: сб. трудов международной научно-технической конференции. – Пенза, ПГУАС, 2011.

3. Евилевич, М.А. Оптимизация биохимической очистки сточных вод / М.А. Евилевич, Л.Н. Брагинский. – Л.: Стройиздат, 1979.

References

1. Andreev, S.Yu. Investigation of vortex mix devices with enamel coat for water flotating plant intensification / S.Yu. Andreev, B.M. Grishin, M.V. Bikunova, L.B. Grishin // Izvestiya Vyzov. Construction. – 2008. – № 11–12.

2. Andreev, S.Yu. Waste water containing oil floatong purification of machine-building plants with the use of vortex mix devices with enamel coat / S.Yu. Andreev, B.M. Grishin, I.B. Shirshin, A.A. Petrunin // Improvement of water supply and sanitary systems of cities and industrial enterprises: collection of works of international scientific conference. – Penza: PGUAS, 2011.

3. Evilevich, M.A. Optimization of waste water biochemical purification / M.A. Evilevich, L.N. Braginsky. – L.: Stroyizdat, 1979.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Береговой Александр Маркович,

доктор технических наук,
профессор кафедры «Городское
строительство и архитектура»

Тел.: (8412) 497213

E-mail: vabereg @ Rambler.ru

Береговой Виталий Александрович,

кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой «Строительные материалы»

Тел.: (8412) 497654

E-mail: vabereg @ Rambler.ru

Мальцев Алексей Викторович,

Аспирант кафедры «Городское
строительство и архитектура»

Тел.: (8412)790849

E-mail: gsia @ pguas.ru

Петрянина Мария Александровна,

Аспирант кафедры «Городское
строительство и архитектура»

Тел.: (8412)89050153930

E-mail: gsia @ pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Beregovoi Alexandr Marcovitch,

Doctor of Science,
Professor of the department «Urban
construction and Architecture»

Tel.: (8412) 497213

E-mail: vabereg @ Rambler.ru

Beregovoi Vitali Alecsandrovitch,

Candidate of Science, Associate Professor,
Head of the department «Building materials»

Tel.: (8412) 497654

E-mail: vabereg @ Rambler.ru

Maltsev Alecsei Victorovitch,

Postgraduate of the department «Urban
construction and Architecture»

Tel.: (8412)790849

E-mail: gsia @ pguas.ru

Petryanina Marya Alecsandrovna,

Postgraduate of the department «Urban
construction and Architecture»

Tel.: (8412) 89050153930

E-mail: gsia @ pguas.ru

ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

А.М. Береговой, В.А. Береговой, А.В. Мальцев, М. А. Петрянина

Приведены результаты натурных обследований уровня энергоэффективности зданий в Пензенской области. Рассмотрены наиболее важные показатели энергоэффективности на основе критериального анализа, влияющие на энергосбережение реконструируемых зданий после проведения в них комплекса малозатратных мероприятий по восстановлению.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, показатели энергоэффективности, старая застройка, наружные ограждения.

THERMAL EFFICIENCY OF THE RESIDENTIAL BUILDINGS DURING THEIR MAINTENANCE

A.M. Beregovoi, V.A. Beregovoi, A.V. Maltsev, M.A. Petryanina

The results of thermal efficiency investigations of buildings in the stage of their service-life are given. The most important indices of efficiency within the system analyses influencing energy savings of such buildings after carrying out complex of not expensive measures on their restoration are presented.

Keywords: thermal efficiency, energy saving effect, efficiency indices, old building, external enclosure structures.

Натурные обследования жилых зданий с большим сроком эксплуатации в г. Пензе и области, проведенные творческим коллективом кафедры «Городское строительство и архитектура», выявили низкий уровень тепловой защиты и большие тепловые потери этих зданий. По удельной величине тепловой энергии на отопление обследованные здания существенно, в 1,8–2,5 раза, уступают нормативным требованиям. Одна из причин такой низкой энергоэффективности зданий – слабое финансирование работ по текущему и капитальному ремонту домов старой застройки и зданий, возведенных по типовым проектам в 60–70-х годах прошлого столетия. Это весьма негативно отразилось на динамике старения жилого фонда и привело к существенному росту доли ветхих и аварийных домов (более 100 млн м²). К тому же за последние два десятилетия объемы строительства жилья значительно сократились.

Замедлить процесс старения жилого фонда можно на основе хорошо продуманного и научно обоснованного подхода к оценке состояния эксплуатируемых зданий, к составлению проектов их восстановления и повышения энергоэффективности с привлечением широкого круга ученых и подготовленных специалистов по эксплуатации жилья. Такой принцип обследования дает возможность проводить своевременные профилактические работы по восстановлению той группы зданий, которая приближается к фазе ускоренного физического старения, быстрой потери основных функциональных свойств. При этом отодвигается на определенный период капитальный ремонт, который требует значительных материально-технических затрат. На примере двух зданий с большим сроком эксплуатации была оценена эффективность такого подхода к их обследованию и восстановлению (см. таблицу).

Тип дома и его общая площадь	Вариант возможной стоимости восстановления, млн руб.	Приблизительная стоимость, млн руб., восстановленной площади проживания при стоимости 1 м ² на вторичном рынке жилья 30 тыс. руб.	Приблизительная эффективность восстановления дома (млн руб.) с нормируемой долговечностью от 100 лет при продлении сроков службы после восстановления на	
			5 лет	10 лет
2-этажный дом на 18 квартир, 1000 м ²	0,5	30	1,5–0,5 = 1	3,0–0,5 = 2,5
5-этажный дом на 60 квартир, 3500 м ²	2,0	105	5,25–2,0 = 3,25	10,5–2,0 = 8,5

В практикуемом сейчас энергетическом паспорте эксплуатируемого здания, а также в разделе «Энергоэффективность» разрабатываемого проекта с рекомендациями по повышению тепловой эффективности в основном описываются последствия, но не анализируются причины возникновения тех сложных процессов тепломассопереноса и деструкции материала, которые происходят в наружных ограждающих конструкциях и непосредственно влияют на энергоэффективность здания и его долговечность. Между тем известно, что одним из основных факторов, влияющих на физическое и моральное старение здания, является потеря теплозащитных свойств его ограждающих конструкций, что снижает эффект энергосбережения и приводит к прогрессирующему ухудшению микроклимата помещений.

Существенный эффект в решении проблемы энергосбережения на первом этапе восстановления зданий, не прошедших регулярных текущих и капитального ремонтов, может принести хорошо продуманная и поставленная работа в виде комплекса малозатратных мероприятий, обширные сведения по использованию которых приводятся в различных руководствах по эксплуатации зданий и в другой специальной

литературе. Эти мероприятия в основном охватывают круг работ по исправлению отдельных дефектов наружных ограждений, в том числе участков с «пустошовкой» кладки, нарушенной гидро- или теплоизоляции, а также работ по восстановлению требуемого воздухообмена помещений, влияющего как на энергосбережение в здании, так и на экологию его помещений (герметизация некоторых стыковых соединений наружных ограждений, целостность их светопрозрачных участков, регулирование открывания приточных отверстий и исправление дефектов вытяжных каналов в системе естественной вентиляции и др.).

Например, значительный энергосберегающий эффект (по разным оценкам от 20 до 60 %) может дать проведение работ по предотвращению высокого уровня неконтролируемой воздухопроницаемости через наружные ограждения вышеупомянутых зданий (уплотнение притворов и замена части стекол окон, а также герметизирующих прокладок стыков панелей, нанесение наружной штукатурки на участки с «пустошовкой» кладки стен, поддержание требуемого температурно-влажностного режима чердачных помещений, устройство самозакрывающихся дверей тамбуров).

Без проведения такого комплекса малозатратных мероприятий, характеризуемого множеством подчас случайных факторов воздействия на энергосбережение здания, трудно ожидать значительного технико-экономического эффекта при осуществлении более сложных технических решений, в том числе инновационного характера. Здесь важно не только учесть устоявшиеся требования, предъявляемые к зданию (долговечность, противопожарные, экономические и др.), но и не упустить выходящие сейчас на первый план требования к микроклимату и экологическим параметрам воздуха помещений. В процессе восстановления теплозащиты здания некоторые энергосберегающие мероприятия часто проводятся в ущерб экологическому состоянию внутренней среды проживания (например, работы по минимизации размеров приточных отверстий, приводящие к уменьшению требуемой кратности воздухообмена помещений; широкое использование полимерных теплоизоляционных материалов в тепловой защите и отделочных слоях ограждений, что вызывает необходимость повышения интенсивности естественной вентиляции здания).

Поэтому поиск и оценку влияния на энергосбережение основных факторов желательно проводить на системной основе как для восстанавливаемых, так и для проектируемых зданий. Критериальный анализ воздействующих факторов позволит составить достаточно полное представление о всех их взаимосвязях в единой энергетической и экологической системе здания (ЕЭЭС).

Для зданий в стадии проектирования такой анализ был сделан ранее рядом авторов [1, 2]. Для восстанавливаемых зданий его выполнили с использованием следующей формулы [2]:

$$K_{ui} = \sum_{j=1}^n q_j k_{ij} + \sum_{j=1}^n q_j^* k_{ij}^* r, \quad (1)$$

где K_{ui} – суммарный обобщенный критерий энергоэффективности здания при нормативных параметрах микроклимата помещений; $\sum_{j=1}^n q_j k_{ij}$ и $\sum_{j=1}^n q_j^* k_{ij}^*$ – соответственно

сумма произведений $q_j k_{ij}$, в которых сочетание безразмерных показателей эффективности не вызывает понижающего эффекта в энергосбережении или, напротив, является его причиной; q_j и r – соответственно коэффициенты весомости и понижения суммарного эффекта ряда показателей, определяемые экспериментальным или расчетным путем; k_{ij} – показатель эффективности энергосбережения.

Натурные инструментальные обследования, проведенные нами в г. Пензе и области для большой группы зданий, давно эксплуатируемых и имеющих вполне удовлетворительные прочностные характеристики, показали, что решающее влияние на энергосбережение после первого этапа восстановления оказывает сравнительно небольшой круг факторов ЕЭЭС. В частности, при анализе в тепловой защите для конструкции стропильной крыши с «холодным» чердаком двухэтажного жилого

здания были отмечены наиболее значительные дефекты. В качестве обобщенного суммарного критерия для исследуемого случая был принят приведенный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания:

$$K_m^{tr} = (A_w / R_w^r + A_F / R_F^r + A_{ed} / R_{ed}^r + A_{cl} / R_{cl}^r + A_f / R_f^r) / A_e^{sum}, \quad (2)$$

где в числителе и знаменателе слагаемых даны площади, m^2 , и приведенное сопротивление теплопередаче, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, соответственно наружных стен, заполнений светопроемов, наружных дверей, чердачного и цокольного перекрытий; A_e^{sum} – общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций, m^2 .

Показателями эффективности служили коэффициенты теплопередачи вышеперечисленных конструкций $k_{ij} = 1/R_{ij}$.

Коэффициент понижения суммарного эффекта r_1 , а также приведенное сопротивление теплопередаче R_{ij} ограждений определялись по результатам обмеров наружных ограждений и лабораторных измерений коэффициента теплопроводности λ материала проб, взятых из этих конструкций.

Наибольшее влияние на коэффициент теплопередачи K_m^{tr} оказало снижение уровня тепловой защиты чердачного перекрытия. Расчет показал, что коэффициент теплопередачи k_f этого перекрытия за время эксплуатации увеличился в 1,4 раза, с чем и связано соответствующее повышение коэффициента r_f .

Весовой коэффициент q_f находился расчетным путем в виде доли величины K_m^{tr} , приходящейся на чердачное перекрытие. Его значение по сравнению с начальной стадией эксплуатации здания возросло в 1,29 раза.

Значительное увеличение коэффициента понижения суммарного эффекта r_f и весового коэффициента q_f чердачного перекрытия за время эксплуатации здания подтверждает результаты натурных обследований здания, выявивших ряд существенных дефектов тепловой защиты его «холодного» чердака.

На снижение одного из важнейших показателей эффективности энергосбережения – системы тепловой защиты ограждающих конструкций – оказывают большое влияние весовые коэффициенты теплопередачи через наружную оболочку и инфильтрационной составляющей тепловых потерь. Причина возрастания этих коэффициентов объясняется чрезмерной увлажненностью материала наружных стен и слоя утеплителя, а также изношенностью и самоуплотнением структуры сыпучего или рыхлого утеплителя в чердачных перекрытиях и стенах. Увеличение инфильтрационной составляющей тепловых потерь наблюдается при воздействии сильного доминирующего температурно-ветрового напора.

В качестве вариантов восстановления тепловой эффективности наружной оболочки здания могут быть рекомендованы следующие мероприятия: устройство вентилируемого сайдинга на фасаде, энергетическая сушка материала ограждения, замена утеплителя или перелопачивание рыхлого теплоизоляционного слоя на перекрытии, дополнительное утепление перекрытия жесткой плитой из минваты толщиной 50 или 100 мм, снижение воздухопроницаемости стыковых соединений наружных ограждений. При этом достигается уменьшение теплотерь через конструкцию увлажненной стены на 5–10 %, через стену с нарушенной герметичностью на 20–80 %, а через перекрытие в 1,5–3 раза.

Снижение другого показателя энергоэффективности – системы теплоснабжения здания – находится в прямой зависимости от весовых коэффициентов подсистемы учета и регулирования подачи тепла, которая в старых зданиях, как правило, отсутствует, а в относительно новых еще недостаточно совершенна, чтобы избежать перетопа или недотопа помещений. В числе рекомендуемых вариантов повышения тепловой эффективности – наладка номинальных теплогидравлических режимов отопительной системы здания, индивидуальных или центральных тепловых пунктов и теплосети. При реализации перечисленных энергосберегающих мероприятий обеспечивается уменьшение суммарного расхода энергии на отопление на 20–30 %.

Величина суммарного обобщенного критерия энергоэффективности K_{ui} находится в зависимости от применения альтернативных источников энергии для дополни-

тельного отопления здания. Использование таких общедоступных видов рассеянной энергии природной среды, как тепло солнечной радиации и верхних слоев земли, может повысить энергосбережение в здании на 5–10 %. На низкую энергоактивность зданий старой застройки влияют плохая приспособленность объемно-планировочного, конструктивного решения этих зданий и их подвальных помещений к использованию этих видов энергии, затененность фасадов и малая светопропускаемость окон, ориентированных на солнечные стороны горизонта. Для повышения энергоактивности этих зданий могут быть рекомендованы следующие варианты: дополнительные пристройки в виде остекленных тепловых буферных зон (террасы, атриумы, веранды и др.), устройство на окнах теплозащитных штор, ставен и жалюзи, применение энергоактивных конструкций и устройств на наружной оболочке здания.

Список литературы

1. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
2. Береговой, А.М. Показатели эффективности в системном анализе теплопотерь через энергосберегающие наружные ограждения / А.М. Береговой, О.Л. Викторова, В.А. Береговой // Изв. вузов. Строительство. – 2009. – № 5. – С. 57–61.

References

1. Tabunschicov, Yu.A. The mathematical Modeling and Optimization of thermal Efficiency of Building / Yu.A. Tabunschicov, M.M. Brodach. – M.: AVOC-PRESS, 2002. – 194 p.
2. Beregovoi, A.M. The Indices of Efficiency in the System Analysis of the Heat loss through Energy Saving External Enclosure Structures / A.M. Beregovoi, O.L. Victorova, V.A. Beregovoi // News of higher educational institutions. Construction. – 2009. – № 5. – P. 57– 61.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Фильчакина Ирина Николаевна,
старший преподаватель кафедры
«Теплогасоснабжение и вентиляция»
Тел.: +7 (412) 92-94-10; +7 (412) 200-814
E-mail: Filchakina@mail.ru

Береговой Александр Маркович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Городское строительство
и архитектура»
Тел.: (8412) 497213
E-mail: am bereg@rambler.ru

Ежов Евгений Григорьевич,
доктор физико-математических наук,
доцент кафедры «Информационно-
вычислительные технологии»
Тел.: +7 (412) 42-05-03; 53-42-45;
+7 (412) 52-05-60

Тараканов Олег Вячеславович,
доктор технических наук, профессор, декан,
почетный строитель РФ, почетный работник
высшего профессионального образования
Тел.: (8412) 494847
E-mail: zig@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Filchakina Irina Nikolaevna,
senior teacher of the department «Heat by gas
and ventilation»
Tel.: +7 (412) 92-94-10; +7 (412) 200-814
E-mail: Filchakina@mail.ru

Beregovoi Alexandr Marcovitch,
Doctor of Science,
Professor of the department «Urban
construction and Architecture»
Tel.: (8412) 497213
E-mail: am bereg@rambler.ru

Ezhov Evgeniy Grigorievich,
Doctor of physico-mathematical sciences,
Associate professor of the department
«Information and computer technologies»
Tel.: +7 (412) 42-05-03; 53-42-45;
+7 (412) 52-05-60

Tarakanov Oleg Vyacheslavovich,
Doctor of Science, Professor, Decan,
Honorary builder of Russia, Honored Worker
of High Professional Education
Tel.: (8412) 494847
E-mail: zig@pguas.ru

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЁТА ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ РАЗДАЧИ ВОЗДУХА С ИНТЕНСИВНЫМ ГАШЕНИЕМ СКОРОСТИ ПРИТОЧНЫХ СТРУЙ

И.Н. Фильчакина, А.М. Береговой, Е.Г. Ежов, О.В. Тараканов

Предложена новая инженерная методика расчёта воздухораспределителя локальной раздачи воздуха с интенсивным гашением скорости приточных струй применительно к производственным помещениям прядильного производства.

Ключевые слова: инженерная методика расчёта, воздухораспределитель локальной раздачи воздуха, интенсивное гашение скорости воздуха.

ENGINEERING CALCULATION METHODS OF AIR LOCAL DISTRIBUTION WITH INTENSIVE BLOWOUT SPEED OF SUPPLY AIR JETS

I.N. Filchakina, A.M. Beregovoi, E.G. Ezhov, O.V. Tarakanov

New engineering calculation methods of air manifold of the local distribution of air with intensive blowout speed of the supply air jets, with respect to production facilities of spinning production are suggested.

Keywords: engineering calculation methods, separate air distributor, local distribution of air, intensive extinguishing air speed.

С целью равномерной раздачи приточного воздуха по длине и высоте технологической и рабочей зон производственных помещений текстильных предприятий авторами предлагается воздухоораспределитель постоянного статического давления с переменным по длине поперечным сечением и постоянной шириной результирующей щели (рис. 1).

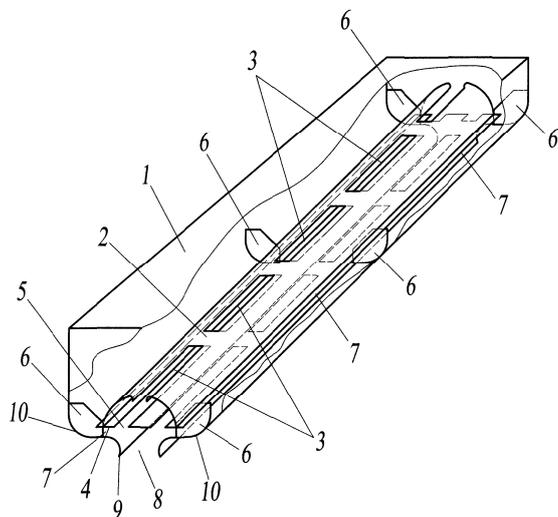


Рис. 1. Воздухораспределитель постоянного статического давления с односторонней раздачей воздуха:

1, 10 – отражательные планки;
2 – дугообразный экран; 3 – продольные щели дугообразного экрана; 4 – стенки воздухоораспределителя в виде плоских экранов; 5 – продольные щели плоского экрана; 6 – пластинчатый разделитель потока; 7 – воздухонаправляющие оппозитные каналы; 8 – результирующая щель; 9 – отогнутые кромки

Ниже предлагается инженерная методика расчёта воздухоораспределителя.

1. Физическая модель

На рис. 2 представлена физическая модель воздухоораспределителя с распределением давлений $P_{ст}$, P_d , P_n и направлением векторов скоростей $V_{ст}$, V_d , V_n внутри конструкции и на выходе из неё.

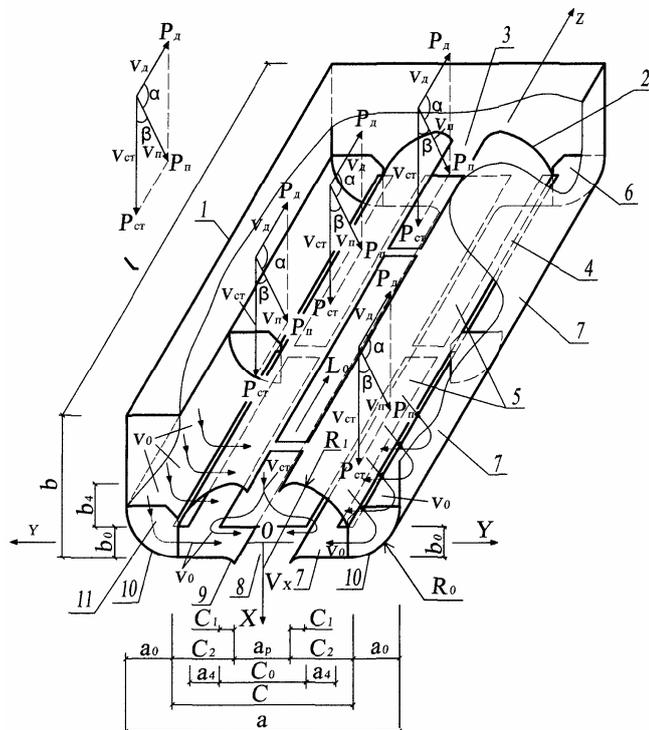


Рис. 2. Физическая модель воздухоораспределителя постоянного статического давления с переменным по длине поперечным сечением

Для обеспечения равномерного истечения потока воздуха из результирующей щели 8 (см. рис. 2) внутри канала 7 через каждые 500 мм установлены пластинчатые разделители потока 6.

Для конструктивно-технического решения предлагаемого воздухоораспределителя с односторонней раздачей (см. рис. 1) приточного воздуха были приняты следующие величины: a_p – ширина результирующей щели 8; b_0 – высоты оппозитных каналов 7;

a_0 – ширина оппозитной щели 7; C – ширина плоского экрана 4; a_4 – ширина продольных щелей 5 в плоском экране 4; a_3 – ширина продольных щелей 3 в дугообразном экране 2; b_4 – максимальный зазор между плоским 4 и дугообразным 2 экранами.

Все вышеперечисленные геометрические величины конструктивных элементов воздухораспределителя определяются с учётом основных двух геометрических размеров, а именно: ширины a_p результирующей щели 8 и высоты b_0 оппозитной щели 7 по формуле

$$l_0 = a_p / b_0. \quad (1)$$

2. Математическая модель

При обосновании математической модели и разработке инженерной методики аэродинамического расчёта воздухораспределителя исходили из классической теории расчёта воздухораспределителей с постоянным по длине статическим давлением [1].

Рассчитываемой величиной является площадь поперечного сечения f_n воздухораспределителя, соответствующая изменению динамического давления P_d на его участке $n - (n+1)$.

Действительная скорость воздуха V_n , м/с, направленная в стороны щелевидных отверстий под углом α к оси воздухораспределителя (рис. 2), определяется из параллелограмма скоростей по формуле [1]:

$$V_n = \sqrt{V_{ст}^2 + V_d^2} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_n}{\rho}}, \quad (2)$$

где $V_{ст}$ – скорость воздуха в результате преобразования статического давления $P_{ст}$ в скоростное давление через $V_{ст}$, м/с, действующее в щелевидном отверстии шириной a_0 и оппозитном канале шириной C_2 ; V_d – скорость воздуха в воздухораспределителе, м/с.

Внутри конструкции воздухораспределителя поток воздуха делится на порции при прохождении через пять прямоугольных щелей, поэтому общий изначальный расход воздуха L_0 собирается в области результирующей щели 8, а именно истекает из двух оппозитных каналов 7 высотой b_0 в количестве $L = L_0/2$. Поэтому общая площадь сечения оппозитного канала для выхода воздуха под углом α к оси воздуховода составит $F_k = 2 \cdot b_0 \cdot l$.

Расход воздуха L_0 , м³/ч, определяется из соотношения [1]:

$$L_0 = \mu_p \cdot F_k \cdot v_n = \mu_p \cdot F_k \cdot \cos \beta \cdot v_n = \mu_p \cdot F_k \cdot \sin \alpha \cdot v_n, \quad (3)$$

где μ_p – коэффициент расхода, характеризующий степень поджатия струи воздуха и местное сопротивление в оппозитном канале 7 высотой b_0 ; α – угол между направлением V_n и осью воздухораспределителя; β – угол между направлением V_n и перпендикуляром к оси воздухораспределителя (рис. 2).

Из параллелограмма скоростей (рис. 2) справедливо, что

$$\sin \alpha = \frac{V_{ст}}{V_n} = \sqrt{\frac{P_{ст}}{P_n}}; L_0 = \mu_p \cdot F_k \cdot \sqrt{\frac{2P_{ст}}{\rho}}; F_k = \frac{L_0}{\mu_p \cdot \sqrt{\frac{2P_{ст}}{\rho}}} = \frac{L_0}{\mu_p \cdot V_{ст}}. \quad (4)$$

На основании данных формул средняя скорость $V_{к(0)}$, м/с, выхода воздуха из двух оппозитных каналов 7 общей площадью F_k , м², определяется согласно уравнению вида $L_0 / F_k = \mu_p \cdot V_{ст}$.

Скорость воздуха V_k , м/с, в оппозитном канале 7 воздухораспределителя составит $V_k = \mu_p \cdot V_{ст}$.

Коэффициент расхода μ_p через прямоугольные отверстия, насадки и щели определяют как

$$\mu_p = \frac{1}{\sqrt{\xi}}, \quad (5)$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления прямоугольного отверстия (насадка, щели), приведенный к скорости потока v_0 , м/с, в оппозитном канале высотой b_0 .

Известно, что коэффициент местного сопротивления выхода воздуха из оппозитного канала высотой b_0 постоянен по длине воздухораспределителя и в зависимости от коэффициента расхода воздуха μ_p определяется из уравнения вида $\xi = \frac{1}{\mu_p^2}$.

Коэффициент местного сопротивления ξ разработанного воздухораспределителя (рис. 1) определяется согласно уравнению, полученному авторами экспериментально:

$$\xi = 2 \cdot 10^{-5} \cdot l_0^2 - 0,003 \cdot l_0 + 3,262. \quad (6)$$

С учётом величины $V_{ст}$ и уравнения (5) скорость воздуха V_k , м/с, в оппозитном канале 7 воздухораспределителя находят по формуле

$$V_{k(0)} = \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot P_{ст}}{\rho}}}{\sqrt{\xi}}. \quad (7)$$

3. Инженерная методика расчёта

На основании рассмотренной физической (см. рис. 2) и математической моделей предлагается инженерная методика расчёта разработанного воздухораспределителя постоянного статического давления (см. рис. 1), позволяющая определить размеры его конструктивных элементов и аэродинамические характеристики (рис. 3).

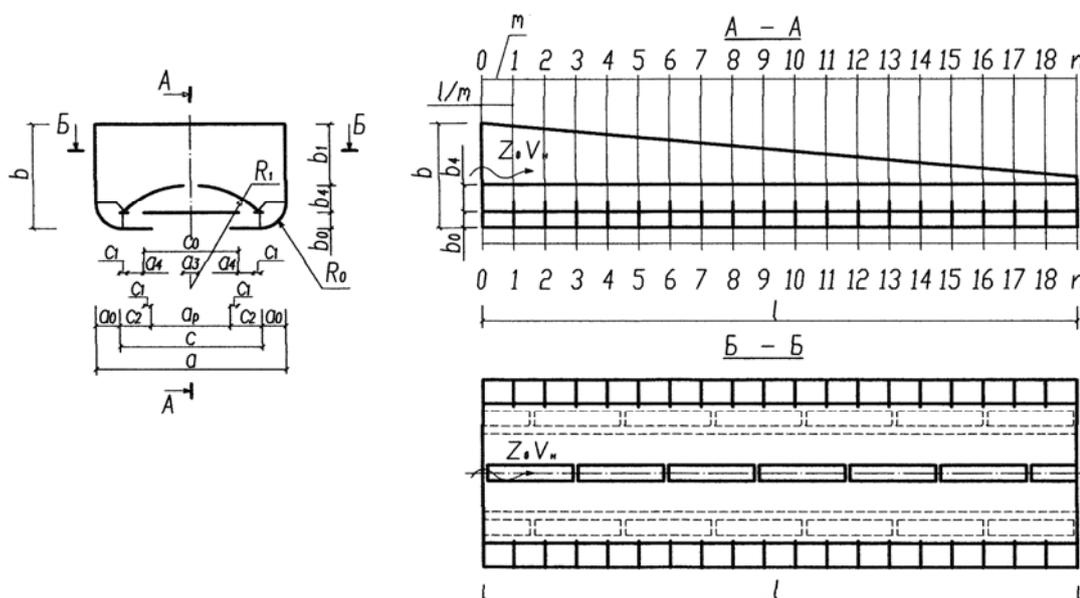


Рис. 3. Схема воздухораспределителя постоянного статического давления с переменным сечением с продольными щелями постоянной ширины ($a_p, a_0, a_3, a_4, b_4, b_0 = \text{const}$) и разделителями потока воздуха

С целью равномерной раздачи воздуха в обслуживаемую зону помещения поперечное сечение воздухораспределителя изменяется по длине за счёт уменьшения высоты двух боковых его стенок, при этом его ширина остаётся неизменной ($a = \text{const}$),

а минимально допустимая высота сечения составляет $b_{\min} = b_0 + b_4 = \text{const}$. При этом динамическое давление P_d будет уменьшаться по направлению потока воздуха на некоторую величину и по закону сохранения энергии переходит в статическое давление. Потери давления на преодоление трения и местных сопротивлений на любом участке воздухоораспределителя компенсируются освобожденным динамическим давлением $P_{до}$, в результате чего статическое давление $P_{ст}$ остается постоянным по всей длине конструкции.

При известном значении размера l_0 , для расчёта габаритных размеров конструктивных элементов воздухоораспределителя, вначале необходимо определить высоту оппозитного канала b_0 , зная при этом скорость движения воздуха w_n^* на входе, требуемую длину l воздухоораспределителя и количество подаваемого им воздуха.

Общая высота $b_{к(0)}$ оппозитных каналов является постоянной величиной по длине l воздухоораспределителя и определится по формуле

$$b_{к(0)} = \frac{L_n}{3600 \cdot w_n^* \cdot l}, \quad (8)$$

где L_n – расход воздуха на входе в воздухоораспределитель, м³/ч.

Определяются основные геометрические размеры конструктивных элементов воздухоораспределителя

$$b_0 = b_{к(0)} / 2; a_p = l_0 \cdot b_0; a = 7 \cdot b_0 + a_p. \quad (9)$$

Далее расчёт воздухоораспределителя сводится к определению его высоты в начальном сечении каждого участка по направлению движения воздуха при условии, что геометрические размеры a , a_p , a_0 , a_3 , a_4 , b_4 и b_0 (рис. 3) остаются постоянными. Для этого воздухоораспределитель делится на m равных участков длиной $l_m = l / m$ (рис. 3), и высота воздухоораспределителя в начальном сечении b_n , м, определяется по формуле

$$b_n = \frac{L_n}{3600 \cdot w_n^* \cdot a} + b_{\min}. \quad (10)$$

В начальном сечении воздухоораспределителя определяется площадь поперечного сечения f_n , с учётом которой уточняется скорость w_n движения воздуха в нём. Затем определяется требуемое статическое $P_{ст_n}$ и динамическое давление $P_{д_n}$, Па.

Сопротивление воздухоораспределителя переменного поперечного сечения равно полному избыточному давлению в его начале

$$\Delta P_n = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w_n^2}{2}. \quad (11)$$

Далее определяется высота воздухоораспределителя b_n , м, в каждом последующем от начала сечении n по формуле

$$b_n = \frac{L_n}{3600 \cdot v_{n-1} \cdot a}, \quad (12)$$

где v_{n-1} – скорость воздуха в начальном сечении рассматриваемого участка m воздухоораспределителя, м/с; L_n – расход воздуха, м³/ч, в сечении n , определяемый как

$$L_n = L_{n-1} - \Delta L_m, \quad (13)$$

где L_{n-1} – расход воздуха в начальном сечении участка m , м³/ч; ΔL_m – расход воздуха, истекающий через щель каждого участка m воздухоораспределителя, м³/ч, определяемый по формуле

$$\Delta L_m = 3600 \cdot v_{n-1} \cdot 2 \cdot b_0 \cdot l_m. \quad (14)$$

Рассчитываются площадь поперечного сечения f_n , скорость воздуха v_n , м/с, и эквивалентный диаметр в каждом расчётном сечении n воздухораспределителя, при этом скорости v_n в конечном сечении участков m , динамическое давление $P_{д(n)}$ и потери давления на трение $(R \cdot l)_{тр}$ определяются в начальном сечении $(n-1)$, кроме того, допускаемая при этом погрешность практически не сказывается на результатах расчёта.

На основании вышеизложенной методики инженерного расчёта конструкции воздухораспределителя составлена программа в оболочке *MS Excel*, пакет «Статистика».

Согласно экспериментальным исследованиям наиболее рациональным значением является $l_0 = 10$, т.к. в данном случае воздухораспределитель будет иметь достаточно компактные габаритные размеры, с целью размещения его в технологическом оборудовании.

Результаты

Учитывая специфику технологического кондиционирования воздуха прядильного цеха локальным способом по типу вытесняющей вентиляции со схемой воздухообмена «снизу вверх», можно утверждать, что данная конструкция воздухораспределителя позволяет осуществлять подачу большого объёма приточного воздуха с допустимой скоростью непосредственно в технологическую зону прядильной машины. При этом обеспечивается равномерность распределения параметров микроклимата φ , t , v по всей длине и стабильность их по высоте технологической и рабочей зон.

Технические решения новой конструкции воздухораспределителя прошли цикл испытаний в производственных условиях и внедрены в ОАО «Сурская Мануфактура» им. В. Асеева в г. Сурске Пензенской области.

Список литературы

1. Ерёмкин, А.И. Локальное кондиционирование вытесняющего типа текстильных предприятий: моногр. / А.И. Ерёмкин. – Саратов: Саратовский гос. техн. ун-т, 2006. – 390 с.
2. Фильчакина, И.Н. Разработка и исследование воздухораспределителя для локальной системы технологического кондиционирования воздуха по типу вытесняющей вентиляции / И.Н. Фильчакина, А.И. Ерёмкин // Региональная архитектура и строительство. – Пенза: ПГУАС. – 2010. – № 1. – С. 116–123.

References

1. Eremkin, A.I. Local air-conditioning displacing type of textile enterprises: monograph / A.I. Eremkin. – Saratov: Saratov state technical university, 2006. – 390 p.
2. Filchakina, I.N. Development and research of air manifold for the local system of technological air-conditioning on the type of displacement ventilation / I.N. Filchakina, F.I. Eremkin // The regional architecture and construction. – Penza: Penza State University of Architecture and Construction. – 2010. – №1. – P. 116–123.

УДК 662. 951.27

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Кубис Вячеслав Александрович,
старший преподаватель кафедры
«Теплогазоснабжение»

Степанов Сергей Алексеевич,
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры «Физика»

Снежкина Ольга Викторовна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Математика
и математическое моделирование»

Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева

Россия, г. Саранск,
п. Ялга, ул. Российская, 8

Левцев Алексей Павлович, доктор
технических наук, профессор кафедры
«Теплоэнергетические системы»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Kubis Vyacheslav Aleksandrovich
senior Lecturer of the department «Heat, gas
supply and ventilation»

Stepanov Sergei Alekseevich,
doctor of physical and mathematical sciences,
professor of the physics department

Snezhkina Olga Viktorovna
Candidate of Science, Associate Professor
of the department «Mathematics
and Mathematical Modeling»

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

Russia, Saransk, p. Yalga, 8, Rossiiskaya St.

Levtsev Alexey Pavlovich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Heat and power systems»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЗДУШНОЙ ЗАВЕСЫ

В.А. Кубис, С.А. Степанов, О.В. Снежкина, А.П. Левцев

Рассмотрены основные зависимости формирования защитной газозащитной завесы. Экспериментально исследован факел сверхзвуковой газовой струи в воздухе. Выявлена возможность стабилизации пламени сверхзвуковой струи газа дежурным факелом.

Ключевые слова: газозащитная завеса, сверхзвуковой газовый факел, стабилизация пламени.

MODELING THE EFFECTIVENESS OF PROTECTIVE GAS-AIR CURTAIN

V.A. Kubis, S.A. Stepanov, O.V. Snezhkina, A.P. Levtsev

The main dependence of the formation of a protective gas-air protective curtain is considered. Torch of supersonic gas jet in the air is tested. Possibility of stabilizing the flame of supersonic gas jet by duty torch is revealed.

Keywords: gas-curtain, supersonic gas torch, flame stabilization.

Проблема техногенных аварий, связанных с выбросами аварийно химически опасных веществ, в настоящее время стоит особенно остро. Еще большую опасность представляют арсеналы по хранению и уничтожению химического оружия. Один из таких арсеналов находится в п. Леонидовке Пензенской области, всего в нескольких километрах от г. Пензы. В настоящее время пущены в эксплуатацию два завода по уничтожению химического оружия.

Ранее предложенный и обоснованный принципиально новый способ активной защиты населения от аварийно химически опасных веществ (АХОВ) [1] позволяет значительно снизить заражение приземного слоя атмосферы в селитебной зоне в случае появления источника заражения вблизи населенного пункта. Снижение достигается путем рассеивания опасных веществ в атмосфере с помощью защитной приземной направленной вверх струйной газозащитной завесы, расположенной неподалеку от источника заражения по направлению ветра.

Одним из вариантов создания защитной завесы является нагрев приземного слоя воздуха путем сжигания газообразного топлива, истекающего из трубного коллектора, расположенного на поверхности земли.

Разработано устройство для формирования свободноконвективной газозвушной завесы, представляющей собой сверхмощную газовую горелку, выполненную в виде газового коллектора, расположенного на поверхности земли (рис. 1) [3].

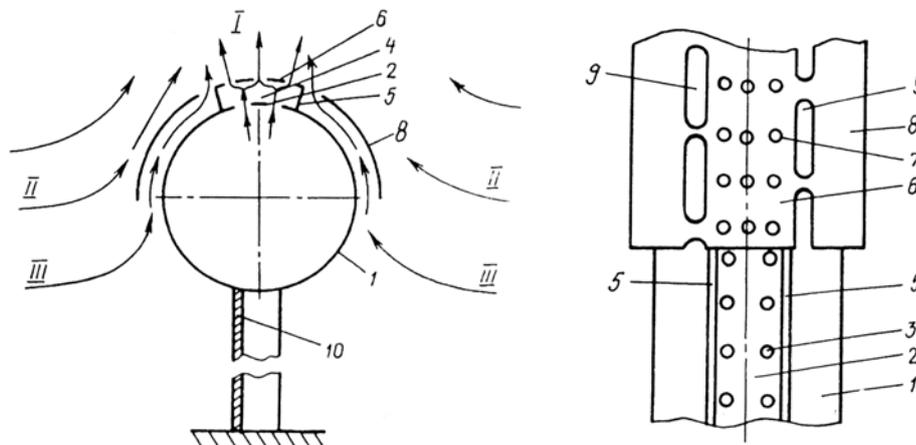


Рис. 1. Устройство для формирования газозвушной завесы:

- 1 – газовый коллектор; 2 – перфорированная верхняя часть; 3, 7 – перфорации;
4 – дополнительный канал; 5 – непроницаемые боковые перегородки; 6 – перфорированная стенка; 8 – цилиндрическая оболочка; 9 – продольные перфорации;
10 – сплошная непродуваемая опора

Существует зависимость расхода газа, необходимого для создания устойчивой защитной завесы, от скорости ветра:

$$Q = 0,197 \cdot v^3,$$

При скорости ветра $v = 2$ м/с расход газа на каждый погонный метр составит $Q = 0,197 \cdot 3^3 = 1,57$ м³/с [2].

Таким образом, для создания с помощью данного устройства устойчивого факела необходимых размеров при данном расходе газа давление его на выходе из коллектора должно лежать в диапазоне 0,2–0,5 МПа. При данных начальных давлениях давление газа будет выше критического $P \geq P_{кр}$, следовательно, будет иметь место сверхзвуковое истечение в нерасчетном режиме.

До настоящего времени практически отсутствовали экспериментальные данные по изучению факела одиночной нерасчетной газовой струи в воздухе.

Для исследования факела сверхзвуковой газовой струи в воздухе была использована установка, представленная на рис. 2 [4].

В качестве топлива использовалась пропан-бутановая смесь. Состав паровой фазы: пропан – 40 %, бутан – 60 %. Температура воздуха 20 °С, атмосферное давление 750 мм рт. ст. Диаметры рабочих сопел 0,7, 1, 1,3 мм. В ходе опытов проводились визуальное наблюдение и фотосъемка с диапазоном выдержек от 1/250 до 1с. При визуальном наблюдении границ факела над ним расплылся водный раствор поваренной соли, что придавало факелу характерный рыжий цвет.

Газ из баллона 1 через резиновый шланг поступает в газовый коллектор 5, на котором установлен манометр 6. Коллектор выполнен в виде горизонтального газового баллона емкостью 1 л. Играя роль расширительного сосуда, коллектор сглаживает скачки давления газа перед соплом 10. Для поддержания основного факела предусмотрен дежурный факел 11 с диаметром сопла 2 мм. Газ для горения дежурного факела отбирается из магистрали 3. Давление газа перед дежурным факелом понижается редуктором 7. Для регулировки подачи газа используется арматура 2, 4, 8. Для обеспечения лучших условий визуального наблюдения факела сзади него установлен черный щит со шкалой 12.

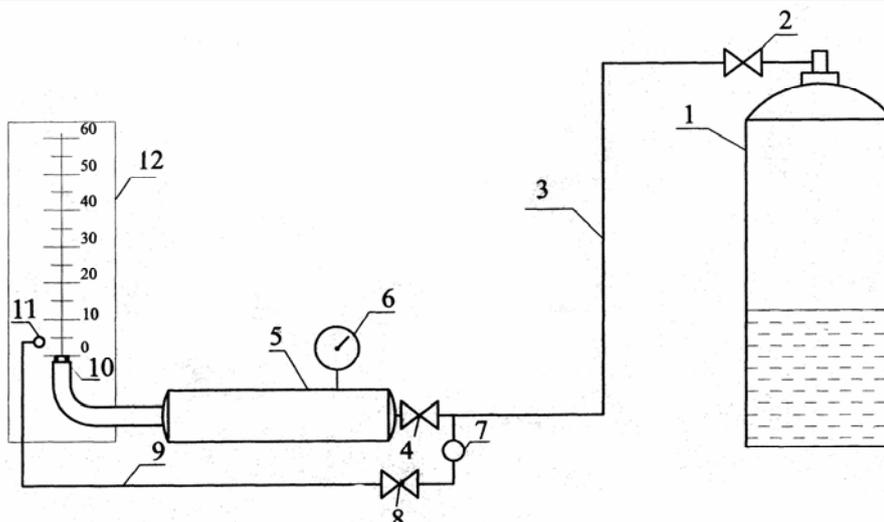


Рис. 2. Схема установки для исследования факела сверхзвуковой газовой струи в воздухе:
 1 – газовый баллон; 2, 7 – редуктор; 3 – шланг резиновый; 4, 8 – кран; 5 – газовый коллектор;
 6 – манометр; 9 – трубка дежурного факела; 10 – основное сопло;
 11 – сопло дежурного факела; 12 – измерительная шкала

При проведении экспериментальных исследований давление газа перед соплом изменялось в пределах $P = 0,2 \dots 0,5$ МПа.

В процессе опыта регистрировались высота видимой части факела при различных начальных давлениях газа, ширина факела и расстояние от среза основного сопла до точки начала устойчивого горения основного факела.

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 3.

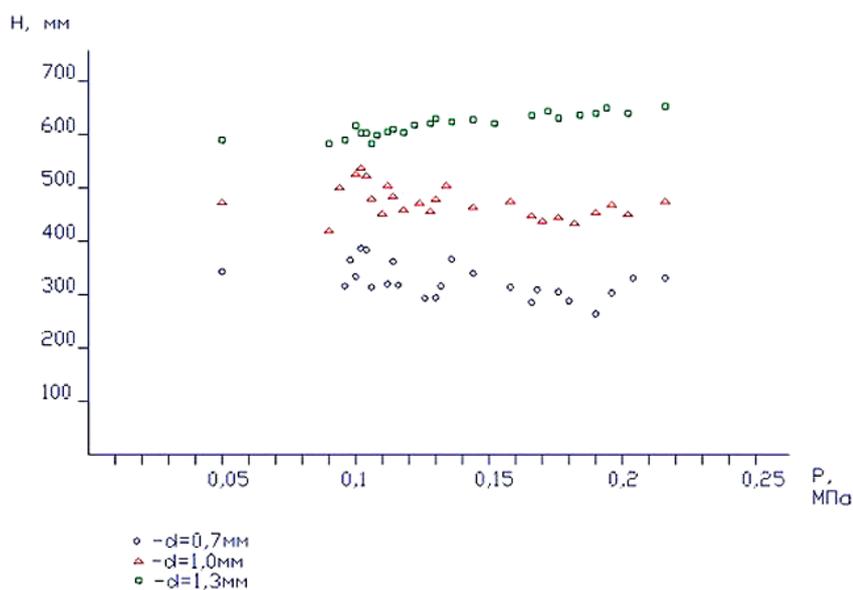


Рис. 3. Зависимость длины факела от начального давления

Математическая обработка результатов эксперимента подтвердила значимость разбиения диаметра сопла на три группы ($d=0,7$; $d=1,0$; $d=1,3$). Для проверки статистической значимости влияния качественного фактора на величину результирующего показателя применялся F -критерий.

Нулевая и альтернативная гипотезы соответственно:

H_0 – влияние фактора отсутствует;

H_1 – влияние фактора статистически значимо.

При уровне значимости $\alpha=0,05$ расчетное значение F -критерия:

$$F_{\text{расч}} = \frac{\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2}{\frac{1}{n-m} \sum_{j=1}^m (n_j - 1) \hat{\sigma}_j^2} \approx 687.$$

Здесь x_{ij} – i -е значение результирующего признака в j -группе ($1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$);

$n = \sum_{j=1}^m n_j$ – общее число элементов в группах;

$\bar{X}_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}$ – групповые средние ($1 \leq j \leq m$);

$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m n_j \bar{X}_j$ – общее среднее;

$\hat{\sigma}_j^2 = \frac{1}{n_j - 1} \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{X}_j)^2$ – оценка дисперсии в j -й группе.

С учетом $F_{\text{расч}} > F_{\text{крит}}$, следует, что зависимость длины факела от диаметра сопла существует и разделение на группы является целесообразным.

Визуальный анализ диаграммы рассеивания (см. рис. 3) позволяет выдвинуть гипотезу о существовании линейной зависимости между длиной факела и начальным давлением в каждой из трех групп при различных диаметрах сопел.

Модели парной линейной регрессии, отражающей зависимость между длиной факела и начальным давлением при различных диаметрах сопел $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$, имеют вид:

1. $\hat{y} = 551,68 + 45,26x$ при $d=1,3$
2. $\hat{y} = 509,79 - 24,91x$ при $d=1,0$
3. $\hat{y} = 370,67 - 34,60x$ при $d=0,7$

принято \hat{y} – длина факела, мм;

x – начальное давление, МПа;

$\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1$ – оценки коэффициентов уравнения регрессии.

Полученные модели тренда достаточно адекватно описывают исследуемые статистические зависимости и вполне пригодны для получения обоснованных заключений и прогнозов. В частности, при диаметре $d=1,3$ коэффициент детерминации $R_2=0,82$. Таким образом, полученная модель на 82 % объясняет изменение роста длины факела от начального давления.

- Уровень значимости F -критерия составляет $4,84 \cdot 10^{-10}$, что существенно меньше 0,01, т.е. полученная модель является высокозначимой;

- уровень значимости t -критерия (P -значение) для коэффициентов существенно меньше 0,01; следовательно, все коэффициенты статически значимы.

Из рис. 3 видно, что диаметр сопла влияет прежде всего на абсолютную длину факела. Рост высоты факела H при повышении давления газа P на срезе сопла при $d=1,3$ объясняется следующим. Во-первых, рост начального давления P увеличивает расстояние от среза сопла до звукового сечения струи факела. Во-вторых, с ростом начального давления растет и диаметр звукового сечения струи, т.е. дальнейшая расчетная струя формируется из большего начального диаметра звукового сечения, а увеличение начального сечения, при прочих равных условиях, вызывает увеличение высоты факела H .

Выводы

1. Экспериментально установлено, что при росте начального давления газа на срезе сопла увеличивается высота факела.
2. Перемещение оси дежурного факела относительно среза сопла основного факела позволяет определить наименьшее расстояние от среза сопла до начала горения основной струи (данный факт следует учитывать при расчете условий стабилизации пламени на горелке).
3. Выявлена возможность стабилизации пламени сверхзвуковой струи газа дежурным факелом.
4. Установленные на основе экспериментальных данных зависимости позволяют использовать полученные результаты при расчете диаметра коллектора и сопел устройства для формирования газозвушной завесы при защите населения от аварийно химически опасных веществ.

Список литературы

1. Обухов, И.А. Новый способ активной защиты населения от ядовитых или отравляющих веществ / И.А. Обухов, В.А. Майоров, А.А. Гусев // Безопасность жизнедеятельности. – 2001. – № 8. – С. 18–20.
2. Обухов, И.А. Способ формирования газозвушной завесы для защиты населения от ядовитых или отравляющих веществ / И.А. Обухов, В.А. Майоров // Патент РФ №2229908. Бюл. № 16, 2004.
3. Майоров, В.А. Устройство для формирования газозвушной завесы для защиты населения от аварийно химически опасных веществ / В.А. Майоров, И.А. Обухов, В.А. Кубис // Патент РФ №2255780 Бюл. № 19, 2005.
4. Кубис, В.А. Установка для исследования горения сверхзвуковой газовой струи в воздухе / В.А. Кубис // Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах: VII Международная научно-практическая конференция. – Пенза: ПГУАС, 2006. – С. 187.
5. Кубис, В.А. Исследование факела газовой струи для повышения эффективности работы устройства по формированию защитной газозвушной завесы / В.А. Кубис, И.Н. Фильчакина // Региональная архитектура и строительство. – 2010. – №1. – С. 112–115.

References

1. Obukhov, I.A. A new method of active protection from toxic or poisonous substances / I.A. Obukhov, V.A. Maiorov, A.A. Gusev // Privacy life inactive. – 2001. – № 8. – P. 18–20.
2. Obukhov, I.A. Method of forming gas-air curtain to protect the public from toxic or poisonous substances / I.A. Obukhov, V.A. Maiorov // Patent of Russian Federation № 2229908. Bull. № 16, 2004.
3. Maiorov, V.A. The device for formation of the gas-air curtain to protect the public from accident chemically hazardous substances / V.A. Maiorov, I.A. Obukhov, V.A. Kubis // RF patent № 2255780 Bull. № 19, 2005.
4. Kubis, V.A. Installation for the investigation of a supersonic gas jet burning in air / V.A. Kubis // Problems of energy conservation and ecology in industry and municipal housing complexes: VII International on-uchno-conference. – Penza: PGUAS, 2006. – P. 187.
5. Kubis, V.A. Investigation of the flare gas stream to increase the efficiency of the device to form a protective gas-air curtain / V.A. Kubis, I.N. Filchakina // Regional architecture and building. – 2010. – №1. – P. 112–115.

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 «Пожарная безопасность
и гражданская защита»

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Степанов Сергей Алексеевич,
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры «Физика»

Камбург Владимир Григорьевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Прикладная математика
и информатика»

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 Science, Associate professor of
the department «Fire safety and civil
protection»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Stepanov Sergei Alekseevich,
Doctor of physical and mathematical science,
Professor of the department «Physic»

Kamburg Vladimir Grigorievich,
Doctor of Science, Professor,
Head of the department «Applied
mathematics and informatics»

Chichirov Konstantin Olegovich,
Candidate of Science,
Associate professor of the department «Heat
and gas supply»

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ СУШИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ ПОСРЕДСТВОМ ЗАКРУТКИ ПОТОКА В ВОЗДУХОВОДАХ

Д.П. Боровков, С.А. Степанов, В.Г. Камбург, К.О. Чичиров

Указаны причины образования пылевых отложений в системах аспирации сушильного оборудования на предприятиях строительной индустрии. Рассмотрен способ повышения устойчивости работы систем аспирации посредством закрутки аспирационных потоков. Описан способ организации закрутки потока в аспирационных сетях. Приведены результаты внедрения описанного решения в условиях действующего производства.

Ключевые слова: аспирационные системы, пыль, частицы, закрученный поток.

RECONSTRUCTION OF DRYING EQUIPMENT ASPIRATION SYSTEM IN ENTERPRISES OF CONSTRUCTION INDUSTRY THROUGH THE FLOW SWIRLING IN DUCTS

D.P. Borovkov, S.A. Stepanov, V.G. Kamburg, K.O. Chichirov

The reasons of dust deposit formation in drying equipment aspiration system in the enterprises of the construction industry are pointed out. A method for increasing the stability of the system by means of aspiration flows swirl is examined. A method is described in the organization of flow swirling aspiration networks. The results of implementing the described solution in industry are presented.

Keywords: vacuum systems, dust, particles, spun thread.

При эксплуатации систем аспирации предприятий строительной отрасли с течением времени происходит образование пылевых отложений в 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 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.

Другой немаловажной причиной образования отложений пыли в воздуховодах систем аспирации строительной индустрии является повышенная адгезионная способность пылей, характерных для строительной отрасли [1, 2].

Еще одним фактором, обуславливающим образование отложений пылевых частиц в воздуховодах систем аспирации строительных производств, является изменение количества аспирационного газа, отводимого от аспирируемого оборудования. Подобная ситуация может возникнуть в ряде случаев, таких, как:

- отключение некоторого количества единиц аспирируемого оборудования;
- изменение технологической нагрузки на аспирируемое оборудование;
- отключение части пылеулавливающих аппаратов (например, при регенерации рукавных фильтров).

Учитывая тот факт, что величина аспирационного объема, который необходимо удалять от оборудования для обеспечения его нормальной работы, лежит в определенных пределах и, как правило, регламентирована для большинства видов оборудования, необходимым условием его надежного и экономичного функционирования является способность системы аспирации обеспечивать проектную величину аспирационного объема.

При снижении объема газа, проходящего по воздуховодам системы аспирации, происходит уменьшение скорости газового потока. Следствием этого является снижение транспортирующей способности аспирационного потока.

Таким образом, при существенном понижении объема аспирационного газа, отводимого от оборудования системой аспирации, может начаться процесс образования пылевых отложений на внутренних поверхностях воздуховодов.

Одним из возможных решений проблемы недостаточной транспортирующей способности газового потока является организация его закрутки.

Повышенную способность закрученного газового потока приводить в движение и переносить твердые пылеобразные частицы отмечали в своих работах ряд исследователей. Так, например, в работе [3] описан показательный эксперимент, направленный на сравнительную оценку транспортирующей способности осевого и закрученного потоков. В ходе эксперимента на дно протяженного горизонтального воздуховода, по которому протекал незакрученный воздушный поток, помещался пылевидный материал. Скорость потока выбиралась таким образом, чтобы его транспортирующая способность была недостаточной и пылевые частицы оседали на дно воздуховода. Затем, без проведения каких-либо дополнительных изменений, к входу воздуховода прикреплялся закручиватель. При этом пылевые частицы, приобретая винтообразную траекторию, уносились со дна воздуховода. Данный пример убедительно доказывает преимущество транспортирования пылевидных частиц по воздуховодам при помощи закрученного потока.

Для организации закрутки потока в воздуховодах систем аспирации наиболее подходят закручивающие устройства тангенциального типа. Выбор тангенциальных закручивающих устройств обусловлен отсутствием внутренних направляющих элементов, подверженных образованию пылевых отложений, а также конструктивной простотой и легкостью изготовления.

Ввиду того, что снижение аспирационного объема может носить лишь временный характер, применение закручивающих устройств в системах аспирации повлечет за собой неоправданное увеличение затрат энергии при работе системы в режиме полной нагрузки. Этим обусловлена потребность в устройствах, обеспечивающих работу аспирационной сети в режимах аксиального и закрученного потоков.

Для организации закрутки аспирационного потока в воздуховодах аспирационной сети во время работы системы в режиме пониженного расхода аспирационного газа предложен комбинированный тангенциальный отвод-закручиватель, конструкция которого представлена на 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.

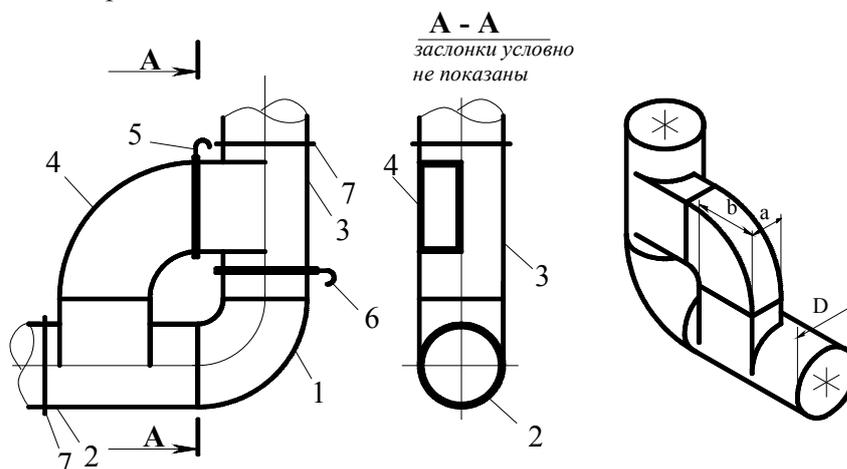


Рис. 1. Комбинированный тангенциальный отвод-закручиватель:
1 – отвод; 2 – выходной аксиальный патрубок закручивателя; 3 – входной аксиальный патрубок закручивателя; 4 – тангенциальный патрубок; 5,6 – заслонки; 7 – соединительные фланцы

Применение комбинированного тангенциального отвода-закручивателя вместо стандартного обеспечивает значительную (от 20 до 60 %) экономию энергии в режиме номинального расхода аспирационного газа. Это достигается за счет работы системы в режиме незакрученного потока при достаточных для транспортирования пылевых частиц скоростях. В режиме сниженного расхода энергопотребление системы с предлагаемым закручивающим устройством на 5...14 % больше такого же значения при использовании тангенциального отвода. Однако, учитывая, что большую часть времени система работает с номинальным расходом газа, а также то, что при снижении расхода газа абсолютное значение затрат энергии значительно уменьшается, применение разработанного устройства энергетически более выгодно, чем тангенциального отвода.

В настоящий момент тангенциальные отводы-закручиватели установлены на ряде аспирационных систем предприятий строительной индустрии. Для примера предлагается рассмотреть аэродинамические характеристики системы аспирации сушильного барабана кирпичного цеха №2 Себряковского комбината асбестоцементных изделий.

Аспирационная система предназначена для улавливания пыли и частиц глины, содержащихся в отходящих от сушильного барабана газах. Из-за больших габаритов и компоновочных особенностей пылеулавливающей установки, а также в связи с плотной компоновкой технологического оборудования на территории цеха пылеуловители размещены на значительном расстоянии от сушильного барабана, поэтому аспирационная сеть имеет значительную протяженность горизонтальных воздухопроводов.

При работе сушильного барабана Б-2,2-16 в режиме проектной мощности выход высушенного глиняного сырья составляет 14,2 т/ч. При таком режиме работы расход газов, отводимых от барабана системой аспирации, по проекту составляет 28000 нормальных м³/ч.

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. В целях снижения расхода тепловой энергии и уноса пыли в систему аспирации расход газа, отводимого от барабана, снижается пропорционально его производительности. При этом для поддержания необходимого для эффективной работы пылеуловителей ВИП-800 значения расхода аспирационного газа в режимах пониженной нагрузки производится отключение одной или двух боковых ветвей пылеулавливающей установки.

Анализ графика технологических и профилактических перерывов в работе линий по производству керамического кирпича и подсчет среднего количества и продолжительности внеплановых и аварийных остановок позволил определить время работы сушильного барабана в режимах максимальной, средней и минимальной производительности. Учитывая то, что аспирационный объем, отводимый системой аспирации от сушильного барабана, изменяется прямо пропорционально технологической нагрузке, вычислено время работы системы аспирации в режиме с расходом аспирационного газа, соответствующем режиму работы барабана.

Наблюдения за работой системы аспирации позволили установить, что с течением времени происходит существенное снижение величины аспирационного объема.

Таким образом, исходя из вышеперечисленных фактов, следует: в процессе эксплуатации системы аспирации происходит оседание пыли в воздухопроводах. Образование пылевых отложений вероятнее всего происходит в режиме работы системы аспирации при пониженном и минимальном расходе аспирационного газа.

Для предотвращения образования пылевых отложений в воздухопроводах 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 воздухопровода, отходящего от сушильного барабана, и горизонтального воздухопровода, присоединенного к пылеулавливающей установке, заменен на комбинированный тангенциальный отвод-закручиватель (рис. 2).

Результаты аэродинамического расчета системы аспирации после реконструкции, при работе в основном режиме и режиме с пониженным расходом аспирационного газа, показывают, что в основном режиме работы потери давления системы аспирации с установленным комбинированным тангенциальным отводом-закручивателем практически не отличаются от потерь давления системы до её реконструкции.

При работе в режиме пониженного на две трети расхода аспирационного газа потери давления системы аспирации с комбинированным тангенциальным отводом-закручивателем, работающим в режиме закрутки потока, лишь незначительно (на 4,5 %) больше потерь при аналогичном режиме работы системы аспирации до реконструкции. При этом условия транспортирования пылевидных частиц в горизонтальном воздуховоде значительно улучшаются по сравнению с условиями, наблюдаемыми при осевом течении аспирационного потока.

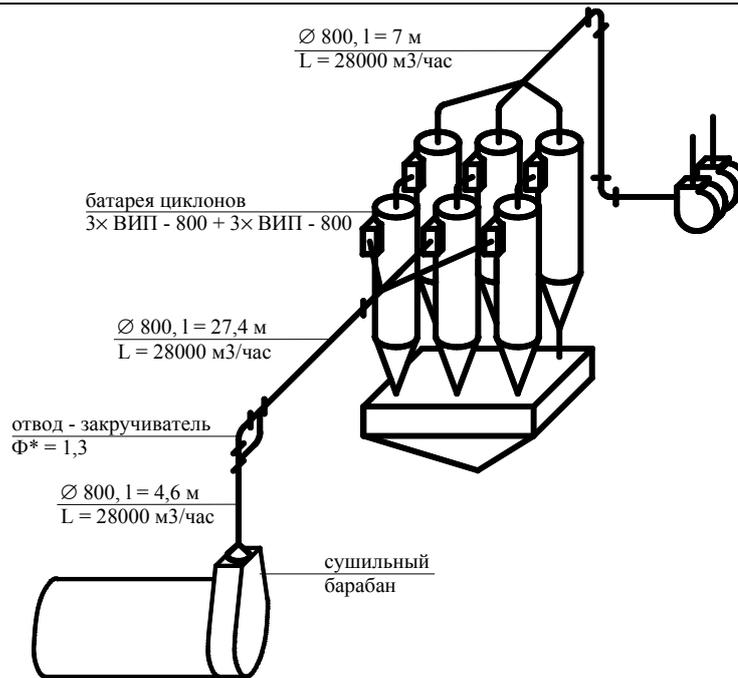


Рис. 2. Схема системы аспирации сушильного барабана кирпичного цеха №2 Себряковского комбината асбестоцементных изделий после реконструкции

Проведенные после реконструкции системы аспирации аэродинамические испытания показали, что результаты практических измерений соответствуют результатам теоретических расчетов. Результаты замеров аэродинамических характеристик системы аспирации, проведенных со значительными временными интервалами, практически совпадают. Данное обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что после реконструкции системы аспирации образование пылевых отложений в воздуховодах аспирационной сети прекратилось. В результате установки комбинированного отвода-закручивателя при работе системы с полной нагрузкой в режиме незакрученного потока аэродинамическое сопротивление возросло с 2000 до 2080 Па, что составляет менее 5 % и находится на нижнем уровне точности измерений. Закрутка аспирационного потока позволяет системе устойчиво работать при расходе аспирационного газа в две трети и трети от номинального. Экономия энергии при этом составляет соответственно 52,7 % и 68,9 %.

Таким образом, реконструкция системы аспирации, заключающаяся в замене стандартного вентиляционного отвода комбинированным тангенциальным отводом-закручивателем позволила обеспечить надежное функционирование системы аспирации при сниженной величине аспирационного объема. При проведении реконструкции не потребовалось каких-либо существенных изменений в аспирационной сети и замены тягодутьевого оборудования. Также не произошло существенного увеличения затрат энергии и прочих эксплуатационных затрат.

Выводы:

1. Аспирационные сети предприятий строительной индустрии с течением времени подвержены забиванию образующимися пылевыми отложениями.
2. Наиболее подвержены образованию пылевых отложений системы аспирации с изменяющимся аспирационным объемом.
3. Закрученный газовый поток характеризуется меньшими значениями скоростей трогания и транспортирования пылевидных частиц.
4. Применение закрутки потока в воздуховодах систем аспирации позволяет предотвращать образование пылевых отложений и существенно повышает устойчивость работы систем аспирации при снижении аспирационных объемов.

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. Кононенко, В.Д. Некоторые особенности пневмотранспорта закрученным потоком / В.Д. Кононенко, В.В. Бунин // Совершенствование систем очистки выбросов и поддержания микроклимата производственных зданий: сб. – Пенза, 1987. С. 14–18.

References

1. The use of swirling flows in aspiration systems of 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 of aspiration systems blockage in construction / V.F. Zheltobryuhov, D.P. Borovkov // The problems of production and the environment: Sci.- Pract. Conf. – Volgograd, 2001. – P. 84–87.
3. Kononenko, V.D. Some features of the twisted flow pneumatic conveying / V.D. Kononenko, V. Bunin // Improvement of treatment of emissions and climate control industrial buildings: sat. – Penza, 1987. – P. 14–18.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Прохоров Сергей Григорьевич, кандидат технических наук, профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»
Тел.: 8(412) 92-94-10
E-mail: kozhunov@yandex.ru

Родионов Юрий Владимирович, доктор технических наук, профессор
Тел.: 8(412) 49-83-30
E-mail: dekauto@pguas.ru

Аржаева Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»
Тел.: 8(412) 92-93-75
E-mail: tgv@pguas.ru

Кожунов Антон Алексеевич, аспирант кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»
Тел.: +79022053836
E-mail: kozhunov@yandex.ru

Салмин Владимир Васильевич, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта»
E-mail: salmin-penza@yandex.ru

Penza State University of Architecture and Construction

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

Prohorov Sergey Grigorievich, Candidate of Science, Professor of the department «Heat, gas supply and ventilation»
Tel.: 8(412) 92-94-10
E-mail: kozhunov@yandex.ru

Rodionov Yuri Vladimirovich, Doctor of Science, Professor
Tel.: 8(412) 49-83-30
E-mail: dekauto@pguas.ru

Arzhaeva Natalia Vladimirovna, Candidate of Science, Associate professor of the department «Heat, gas supply and ventilation»
Tel.: 8(412) 92-94-10
E-mail: tgv@pguas.ru

Kozhunov Anton Alekseevich, Postgraduate of the department «Heat, gas supply and ventilation»
Tel.: +79022053836
E-mail: kozhunov@yandex.ru

Salmin Vladimir Vasilievich, Doctor of Science, Professor, Head of the department «Exploitation of automobile transport»
E-mail: salmin-penza@yandex.ru

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗАВОДА*

С.Г. Прохоров, Ю.В. Родионов, Н.В. Аржаева, А.А. Кожунов, В.В. Салмин

Представлены данные оценки теплового ресурса уходящих газов технологических печей кузнечно-прессового цеха. Предложены схемы утилизации их теплоты. Приведены результаты экспериментальных исследований и разработки нестандартного оборудования.

Ключевые слова: машиностроительный завод, технологические печи, утилизация теплоты уходящих газов.

UTILIZATION OF SMOKE GASES HEAT IN TECHNOLOGICAL FURNACES OF MACHINE-BUILDING FACTORY

S.G. Prohorov, Y.V. Rodionov, N.V. Arzhaeva, A.A. Kozhunov, V.V. Salmin

The authors present the results of estimation smoke gases thermal resource in smith's shop technological furnaces. Besides they give the results of experimental researches and development of non-standard equipment.

Keywords: smith's shop, technological furnaces, utilization of smoke gases heat.

* Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» (госконтракт № 16.740.11.0069).

Использование природного газа в технологических печах машиностроительных заводов характеризуется недостаточной эффективностью. Например, коэффициент полезного действия нагревательных печей не превышает 40 %, а в некоторых случаях не достигает и 10 % [1]. Уходящие газы имеют температуру 500-800°C и выше. В результате потери теплоты с уходящими газами достигают 60 % и более.

Объектом исследований являлись печи кузнечно-прессового цеха Пензенского компрессорного завода (6 печей). Печи оборудованы эжекционными горелками с суммарным расходом газа 2360 $\text{м}^3/\text{ч}$. Половина печей работала непрерывно с расходом газа 1180 $\text{м}^3/\text{ч}$.

Результаты замеров показали, что температура уходящих газов в боровых непосредственно за печами в правой части цеха изменялась от 800-850°C до 950-1000°C. Температура в сборном борове перед дымовой трубой составила 400-450°C. С учетом присосов воздуха и режимов работы только печей в правой части цеха расход уходящих газов достигал 30-35 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$. Уходящие газы удалялись через дымовую трубу самотягой. Разрежение перед трубой составляло 180-200 Па.

С целью повышения эффективности использования природного газа нами предложены два варианта утилизации теплоты уходящих газов на базе разработанного радиационного ударно-щелевого воздухонагревателя. По первому варианту (рис. 1) уходящие газы от четырех печей правой части цеха поступают в четыре воздухонагревателя, где охлаждаются с температуры 800-850 °C до 500-550 °C (в зависимости от величины присосов окружающего воздуха в газовый тракт). Утилизированная теплота используется для подогрева чистого наружного воздуха до температуры 180-200 °C с подачей его на цели воздушного отопления литейного цеха. Для снижения температуры горячего воздуха до температуры притока (45-50 °C) разработана воздухораспределительная панель эжекционных смесителей.

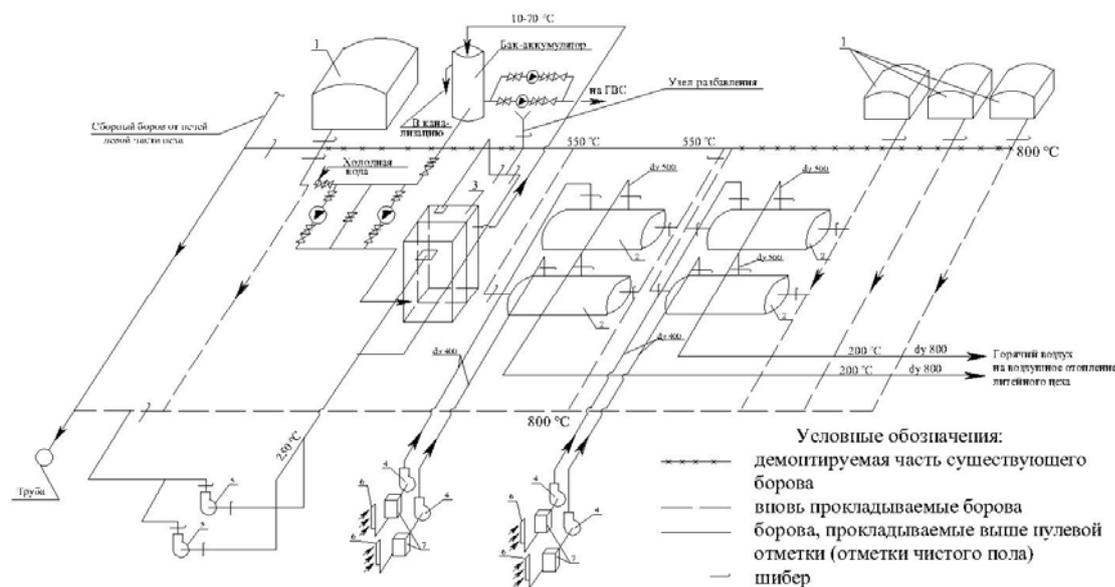


Рис. 1. Схема утилизации теплоты дымовых газов печей кузнечно-прессового цеха (вариант 1):

- 1 – печи; 2 – радиационные ударно-щелевые воздухонагреватели; 3 – водяной экономайзер; 4 – вентиляторы; 5 – воздухозаборные устройства; 6 – дымососы; 7 – воздушные фильтры

В дальнейшем теплоту уходящих газов после воздухонагревателей предложено использовать для получения горячей воды с температурой 60-70 °C в поверхностном чугунном экономайзере. Для обеспечения надежной работы экономайзера предусмотрен узел разбавления с целью снижения температуры газов с 500-550 °C до 300-350 °C. Подогрев воды осуществляется следующим образом: заполняется бак-аккумулятор холодной водой. При достижении верхнего уровня срабатывает перелив. Закрываются задвижки на исходной воде и перепускном трубопроводе. Открываются задвижки на обвязочных трубопроводах рабочего насоса (один резервный) и на выходе из бака.

Организуется циркуляция по контуру «бак – насосы – экономайзер – бак». При устойчивой циркуляции открывается шибер подачи уходящих газов в экономайзер (при отсутствии циркуляции воды газы транспортируются через байпас), а на байпасном газоходе закрывается. При достижении температуры воды $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ открывается шибер на байпасном газоходе экономайзера и закрывается шибер подачи газов в экономайзер. Горячая вода подается потребителям насосами.

По первому варианту утилизации теплоты уходящих газов можно достичь их охлаждения до $140\text{--}160\text{ }^{\circ}\text{C}$ и удалять в атмосферу при помощи дымососов. На газовом тракте предусмотрена установка шиберов с целью отключения воздухонагревателей (утилизация теплоты только для получения горячей воды); отключения группы воздухонагревателей (при снижении отопительной нагрузки); отключения утилизационной установки (уходящие газы транспортируются без утилизации посредством самотяги дымовой трубы). При транспортировке уходящих газов через байпас экономайзера степень разбавления должна быть такой, чтобы температура газов перед дымососом не превышала $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2].

На воздушном тракте предусмотрена установка воздухозаборных устройств, фильтров очистки воздуха, вентиляторов высокого давления, шиберов. Необходимость применения вентиляторов высокого давления обусловлена величиной гидравлического сопротивления воздухонагревателей и обеспечением необходимого напора перед воздухораспределительными панелями эжекционных смесителей. Установку дымососов и вентиляторов при расчетных температурах до минус $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ можно производить вне помещения [2].

По второму варианту (рис. 2) предусмотрена частичная утилизация только в радиационных ударно-щелевых воздухонагревателях. В связи с этим рассматривалась возможность работы утилизационной установки на естественной тяге дымовой трубы. Однако гидравлический расчет газового тракта показал необходимость установки дымососов и в этом случае. Для снижения температуры уходящих газов до $200\text{--}250\text{ }^{\circ}\text{C}$ непосредственно перед дымососами предусмотрен узел разбавления.

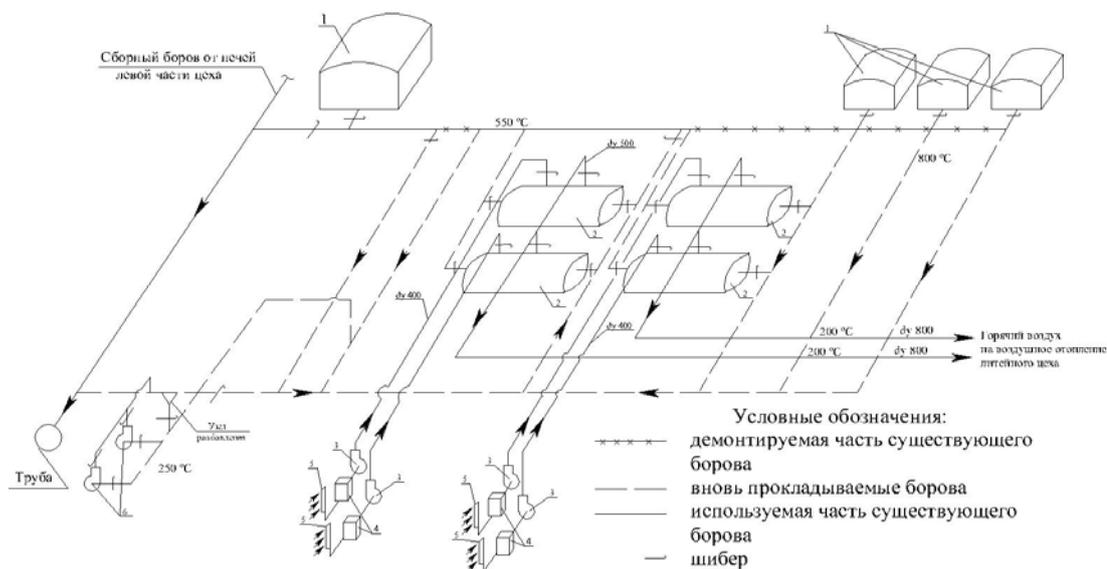


Рис. 2. Схема утилизации теплоты дымовых газов печей кузнечно-прессового цеха (вариант 2):
 1 – печи; 2 – радиационные ударно-щелевые воздухонагреватели; 3 – вентиляторы;
 4 – воздушные фильтры; 5 – воздухозаборные устройства; 6 – дымососы

Применительно к параметрам уходящих газов печей разработан радиационный ударно-щелевой воздухонагреватель (рис. 3). Состоит из радиационной секции I и ударно-щелевой секции II.

Радиационная секция имеет внутренний и наружный стальные цилиндры диаметром 700 и 800 мм соответственно, между ними установлен перфорированный

цилиндр диаметром 788 мм. Для увеличения теплоотдачи от дымовых газов на внутренней поверхности внутреннего цилиндра приварены ребра. Со стороны воздуха осуществляется струйное натекание с усовершенствованной организацией [3].

Ударно-щелевая секция, как и радиационная, состоит из трех цилиндров. Во внутренний цилиндр помещен перфорированный конус, закрытый с узкого торца. С помощью конуса осуществляется струйное натекание дымовых газов на теплообменную поверхность. Обе секции снабжены однолинзовыми компенсаторами, изолированы минераловатными плитами и покрыты алюминиевым листом.

Дымовые газы входят во внутренний цилиндр радиационной секции, проходят ее и направляются в перфорированный конус. Из конуса дымовые газы натекают через отверстия на внутреннюю поверхность внутреннего цилиндра ударно-щелевой секции и уходят в дымовой бороз. Холодный воздух подводится через входной патрубок ударно-щелевой секции и натекает струями на внешнюю поверхность внутреннего цилиндра. Далее воздух поступает в радиационную секцию, где натекает на наружную поверхность внутреннего цилиндра и выводится через выходной патрубок.

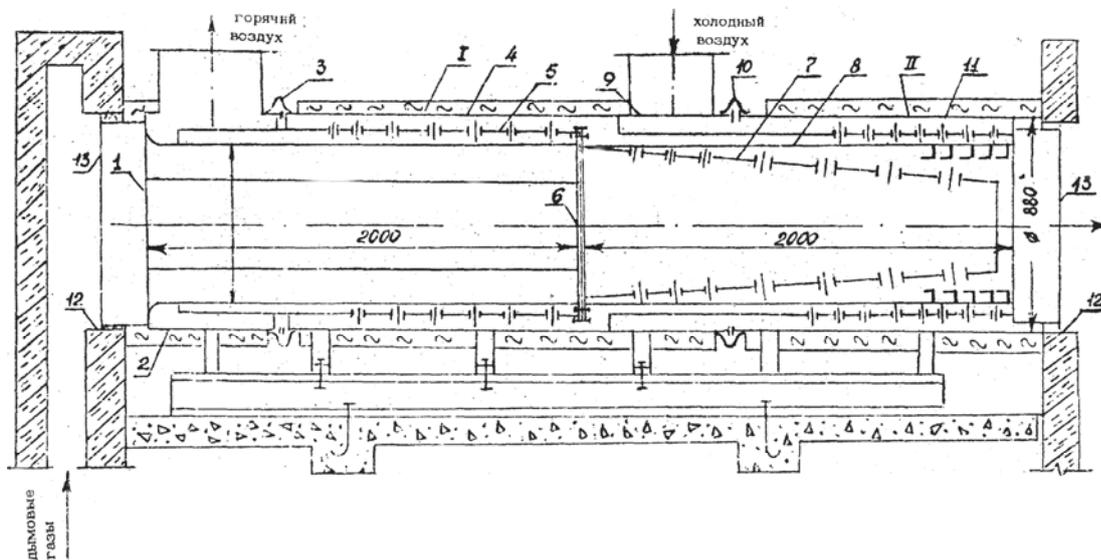


Рис. 3. Радиационный ударно-щелевой воздухонагреватель:

I – радиационная секция; II – ударно-щелевая секция; 1 – торцевой лист внутреннего цилиндра; 2, 9 – обечайка; 3, 10 – линзовые компенсаторы; 4, 11 – корпуса; 5 – перфорированный цилиндр; 6 – опорный лист внутреннего цилиндра; 7 – перфорированный конус; 8 – внутренний цилиндр ударно-щелевой секции; 12 – цилиндры герметизации; 13 – ножи

Техническая характеристика

Режим работы – по режиму печей

Температура дымовых газов перед рекуператором – 800-1000 °С

Расчетный расход дымовых газов – 1,44 кг/с, или 4000 м³/ч

Максимальная температура подогрева воздуха при расчетной температуре дымовых газов 800–200 °С

Количество нагреваемого воздуха – 1,8 кг/с или 5000 м³/ч

Сопrotивление по дымовому тракту при расчетном расходе дымовых газов – 135 Па

Сопrotивление по воздушному тракту при расчетном расходе воздуха – 1649 Па

Тепловая мощность – 416 кВт

Состав рекуператора – радиационная секция и ударно-щелевая секция

Наружный диаметр дымового цилиндра секции – 0,7 м

Длина цилиндра дымового тракта каждой секции – 2,0 м

Общая длина рекуператора – 4,0 м

Тепловая мощность воздухораспределительной панели эжекционных смесителей принята 45 кВт, как и у типового воздушного отопительного агрегата. С целью упрощения конструкции и габаритов панели за основу была принята укороченная эжекционная трубка. Она имеет укороченную камеру смешения при отсутствии входного патрубка, диффузор с большим углом раскрытия овальной формы. Роль сопла выполняет отверстие в коллекторе горячего воздуха, над которым устанавливается трубка.

В результате расчетных и лабораторных исследований произведена доработка конструкции трубки. Окончательный её вариант приведен на рис. 4.

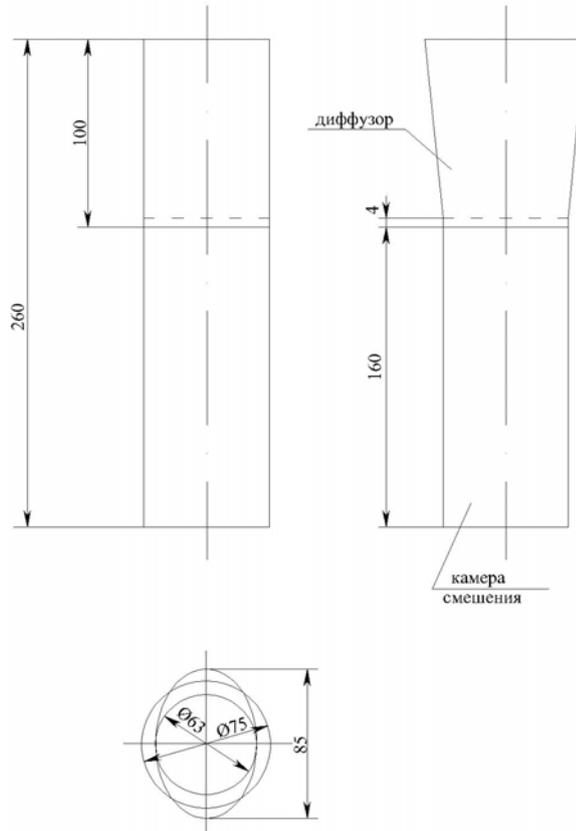


Рис. 4. Конструкция эжекционной трубки

Экспериментальные исследования также позволили выявить влияние расстояния от коллектора до трубки и давления в коллекторе на коэффициент эжекции β (рис. 5). В практическом диапазоне давлений воздуха эжекционная способность зависит, в основном, от расстояния.

С учетом изложенного разработана конструкция панели (рис. 6), которая позволяет изменять расстояния от эжекционных трубок до коллектора и распределительных трубок. Таким образом можно изменять количество эжектируемого воздуха и регулировать температуру приточного воздуха.

Предложенные варианты утилизации теплоты уходящих газов технологических печей на цели воздушного отопления и горячего водоснабжения позволяют значительно повысить эффективность использования природного газа на машиностроительных заводах.

Разработанное нестандартное оборудование для практического внедрения представляет самостоятельный интерес в техническом контексте проблемы энергосбережения.

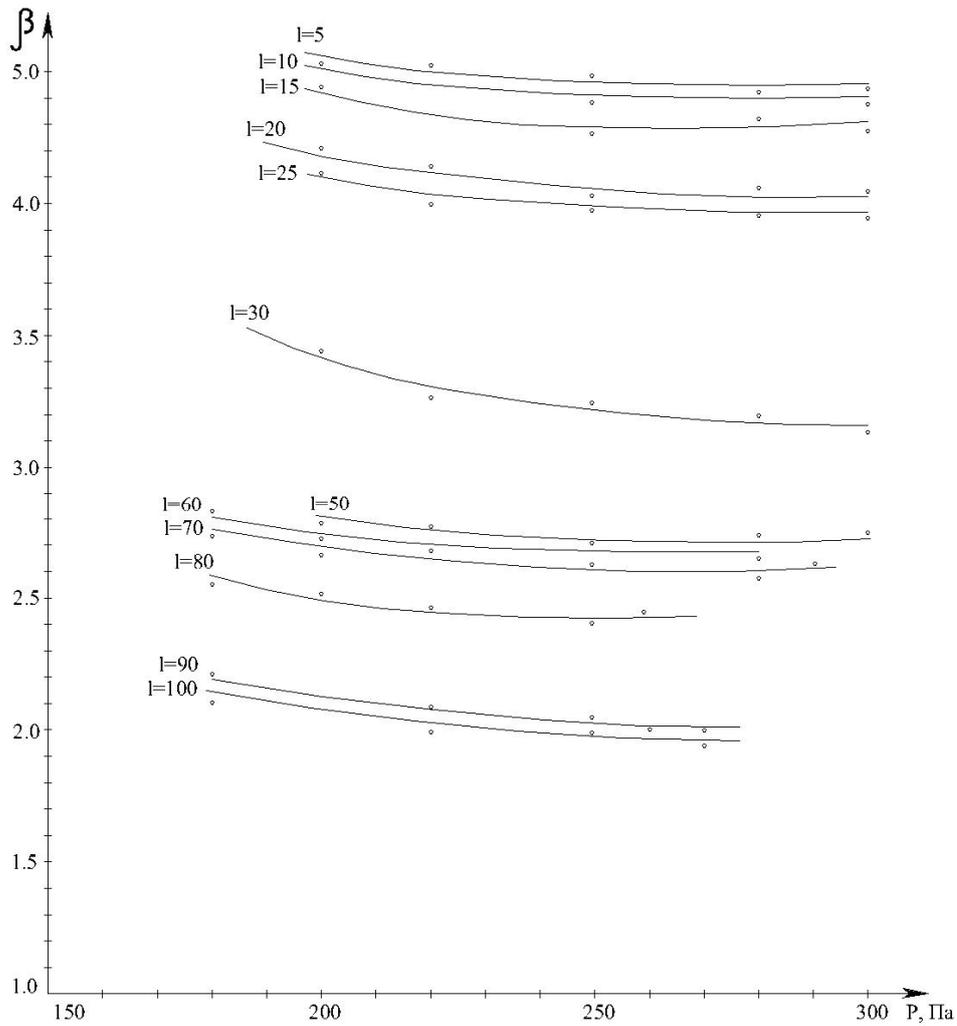


Рис. 5. Зависимость коэффициента эжекции от давления воздуха в коллекторе и расстояния l от коллектора до трубки (диаметр сопла 15 мм)

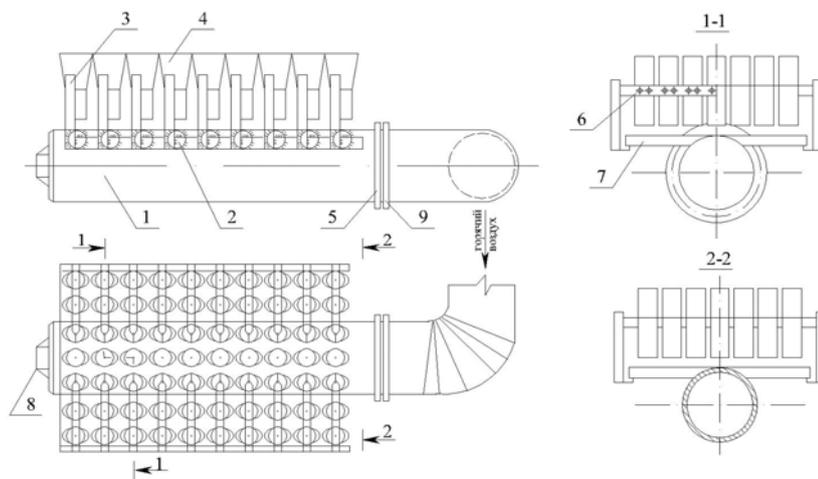


Рис. 6. Воздухораспределительная панель эжекционных смесителей:
 1 – коллектор; 2 – уголок; 3 – стойка; 4 – эжекционный смеситель; 5 – фланец подвижный;
 6 – опорная пластина; 7 – труба распределительная; 8 – заглушка с опорным шарниром;
 9 – фланец неподвижный

Список литературы

1. Энергосбережение и охрана воздушного бассейна при использовании природного газа / Б.В. Шанин, Е.Е. Новгородский, В.А. Широков, А.Ф. Пужайло. – Н. Новгород: НГАСУ, 1998. – 384 с.
2. Строительный каталог. Ч. 10. Санитарно-техническое оборудование. Приборы и автоматические устройства. Раздел 2. Котельное оборудование. Подраздел 30. Дымососы и дутьевые вентиляторы. – М.: ГПИ Сантехпроект, 1981. – 102 с.
3. Прохоров, С.Г. Совершенствование струйных рекуператоров / С.Г. Прохоров, Н.В. Аржаева, А.А. Кожунов // Энерго- и ресурсосберегающие технологии в системах теплогоснабжения и вентиляции: сб. тр. XIII Междунар. науч.-техн. конференции. – Пенза: ПГУАС, 2011. – С. 54–59.

References

1. The power savings and protection of air pool at use of natural gas / B.V. Shanin, E.E. Novgorodskiy, V.A. Shirokov, A.F. Puzhailo. – N.Novgorod: NGASU, 1998. – 384 p.
2. The building catalog. Part 10. The sanitary-engineering equipment. Devices and automatic devices. Section 2. The boiler equipment. Subsection 30. Smoke fans. – M.: GPI Santehproekt, 1981. – 102 p.
3. Prohorov, S.G. Perfection of jet recuperators / S.G. Prohorov, N.V. Arzhaeva, A.A. Kozhunov // Energy- and resource-saving technologies in systems heat, gas supply and ventilation: the collection of works of XIII International scientifically-technical conference. – Penza: PGUAS, 2011. – P. 54–59.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Баканова Светлана Викторовна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Теплогазоснабжение»
Тел.: 89273827445

Грейсух Григорий Исаевич,
доктор технических наук, профессор, зав.
кафедрой «Физика»

Родионов Юрий Владимирович,
доктор технических наук, профессор
Тел.: 8(412) 49-83-30
E-mail: dekauto@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Bakanova Svetlana Viktorovna,
candidate of science, associate professor
of department «Heat and gas supply»
Tel.: 89273827445

Greisukh Grigoriy Isaevitch,
Doctor of Science, Professor,
Head of the Physics department

Rodionov Yuri Vladimirovich,
Doctor of Science, Professor
Tel.: 8(412) 49-83-30
E-mail: dekauto@pguas.ru

ВОЗДУШНЫЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ В РЕФРИЖЕРАТОРНОМ ТРЮМЕ

С.В. Баканова, Г.И. Грейсух, Ю.В. Родионов

Рассматриваются экспериментально полученные данные коэффициента аэродинамического сопротивления штабеля груза при его воздушном охлаждении. Для горизонтальной системы воздухораспределения установлено количественное соотношение воздушных потоков, циркулирующих в штабеле груза и вне его.

Ключевые слова: воздухораспределение, пористый слой, структура слоя, коэффициент аэродинамического сопротивления.

COOLING AIR SYSTEMS IN REFRIGERATOR HOLD

S.V. Bakanova, G.I. Greisukh, Y.V. Rodionov

Experimental data of factor of aerodynamic resistance of a stack of cargo with air cooling are considered. Quantitative parity of air streams horizontal circulating in a stack and out of it is stated.

Keywords: air distribution, the porous layer, the structure of the layer, drag coefficient.

Использование воздуха в качестве хладоносителя получило широкое распространение как при хранении разнообразной скоропортящейся продукции в стационарных хранилищах, так и при её транспортировке. В России, например, около 80 % рефрижераторных трюмов оборудованы системами воздушного охлаждения. На энергетические характеристики этих систем наиболее значительное влияние оказывает аэродинамическое сопротивление штабеля продукции, которое зависит от загрузки помещения (трюма, овощехранилища), пористости штабеля, от формы и размеров его составляющих. Определение коэффициента аэродинамического сопротивления груза (λ) в зависимости от указанных факторов необходимо для правильного проектирования систем охлаждения, а также для возможности выбора их рационального режима работы.

Воздушные системы охлаждения, применяемые в настоящее время, отличаются в основном способами распределения воздуха в грузовых помещениях. Широкое распространение получили как вертикальные системы воздухораспределения с восходящим потоком воздуха, так и горизонтальные системы воздухораспределения.

В данной работе рассматривается горизонтальная схема воздухораспределения. Основными преимуществами применения горизонтальной схемы раздачи воздуха являются:

- снижение капитальных затрат за счёт исключения дорогостоящих напольных воздухораспределителей;
- уменьшение градиента температуры по высоте штабеля продукции за счёт постепенного выхода воздуха из груза в байпас, образующийся между вершиной штабеля и подволоком;
- увеличение полезного объёма грузовых помещений.

Наряду с экономической целесообразностью горизонтальная система воздухораспределения позволяет улучшить микроклимат трюмов.

Основным видом упаковки в трюмах рефрижераторных судов является ящичная упаковка. Характер укладки ящичного груза таков, что образуется пористый слой, структура которого идентична структуре монодисперсного слоя [1]. Движение воздуха в штабеле ящичного груза можно рассматривать как течение его в шероховатых щелях или трещинах переменного сечения. Согласно работам [1, 3] такую среду допустимо рассматривать как разновидность пористой (зернистой) среды, а движение воздуха в щелях – как один из случаев фильтрации. Таким образом, укладку штабеля груза можно считать зернистой, а расчёт его аэродинамического сопротивления – ввести по формуле, предложенной в работе [1]:

$$\Delta P = \lambda \frac{\rho u^2}{8} \cdot \frac{a}{\varepsilon^3} l, \quad (1)$$

где λ – коэффициент аэродинамического сопротивления груза; ρ – плотность воздуха, кг/м³; u – скорость воздуха в расчёте на полное сечение штабеля груза (скорость фильтрации), м/с; a – удельная поверхность единицы объёма штабеля, м²/м³; ε – пористость, т.е. доля свободного объёма штабеля, м³/м³; l – сходственный линейный размер, м.

Введя величины, используемые при описании гидравлического сопротивления трубопроводов,

$$d_3 = \frac{4\varepsilon}{a}; \quad v = \frac{u}{\varepsilon},$$

уравнение (1) можно записать в виде

$$\Delta P = \lambda \frac{l}{d_3} \frac{\rho v^2}{8}, \quad (2)$$

где ΔP – перепад давлений в слое конечной длины кгс/м²; d_3 – эквивалентный диаметр воздушного канала, м; v – истинная скорость воздуха в межгрузовом пространстве, м/с.

Экспериментальное определение коэффициента λ для штабеля ящичного груза проводилось на установке, подробно описанной в работе [2]. Макет рефрижераторного трюма с горизонтальной воздушной системой охлаждения загружался параллелепипедами, имитирующими ящичный груз. Укладка элементов груза была принята перекрёстными рядами. Система подачи воздуха обеспечивала равномерное продувание штабеля. Давления измерялись микроманометрами, а расход – трубкой Вентури. Максимальный перепад давлений в штабеле составлял 0,09 м.

Пористость штабеля ε подсчитывалась по количеству составляющих груза и изменялась от 0,05 до 0,4. Удельная поверхность единицы объёма штабеля определялась по площади граней параллелепипедов, содержащихся в единице объёма трюма. Опыты проводились в диапазоне чисел Рейнольдса $2300 \geq Re \geq 80$, значения которых вычислялись по формуле

$$Re = \frac{u d_3}{\nu} = \frac{4u\varepsilon}{a\nu}. \quad (3)$$

Результаты опытов представлены на рис. 1.

Кривую $\lambda = f(Re)$ на рис. 1 целесообразно разбить на два участка, характеризующих различными режимами течения. Первый участок ($Re \leq 150$) соответствует переходному режиму. На втором участке ($Re > 150$) аэродинамическое сопротивление штабеля определяется в основном силами инерции, влияние которых при течении газа в зернистых слоях сказывается при значительно меньших значениях Re , чем в случае течения

в трубах. Зависимость $\lambda=f(\text{Re})$ аппроксимировалась степенной функцией $\lambda = \frac{A}{\text{Re}^n}$.

Для двух участков (см. рис. 1) методом наименьших квадратов получено:

$$\text{Re} \leq 150, \lambda = 118,3 \text{Re}^{-0.68};$$

$$\text{Re} > 150, \lambda = 5,48 \text{Re}^{-0.066},$$

а при $\text{Re} \geq 2000$ функция $\lambda=f(\text{Re})$ практически постоянна и равна 3,2.

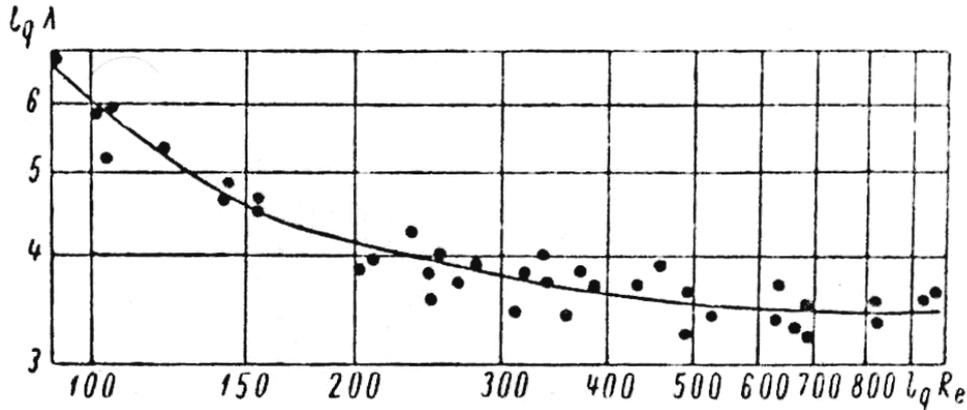


Рис. 1. Коэффициент аэродинамического сопротивления для штабеля ящикного груза

Расчёт аэродинамического сопротивления груза не вызывает затруднений, если весь подаваемый вентилятором воздух проходит через штабель. Однако в трюмах, оборудованных горизонтальными воздушными системами, часть воздуха минует груз и циркулирует через байпас, практически всегда образующийся между вершиной штабеля груза и подволоком. Высота этого байпаса по разным причинам может колебаться в широких пределах. В этом случае для расчёта необходимо знать количество воздуха, циркулирующего через байпас (q_1) и через толщу груза (q_2). Чтобы определить эти величины, предположим, что давления в нагнетательном и всасывающем трубопроводах воздуха по всему поперечному сечению одинаковы ($\Delta p_1 = \Delta p_2$). Тогда в соответствии с выражением (2) для байпасирующего потока можно записать

$$\Delta p_1 = \lambda_1 \frac{l}{d_2} \frac{\rho \omega_1^2}{2} \quad (4)$$

и для потока, проходящего через груз,

$$\Delta p_2 = \lambda \frac{l}{d_3} \frac{\rho u^2}{2} \frac{1}{\varepsilon^2} = \lambda \frac{l}{d_3} \frac{\rho v^2}{2}. \quad (5)$$

Поскольку $\Delta p_1 = \Delta p_2$, получаем:

$$\frac{\lambda_1 \omega_1^2}{d_2} = \frac{\lambda v^2}{d_3}, \quad (6)$$

где ω_1 — скорость воздуха в байпасе; d_2 — аэродинамический диаметр байпаса; λ_1 — коэффициент аэродинамического сопротивления байпаса, определяемый по формуле [4]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} = \left(1,8 + 0,25 \frac{h}{L} \right) \log \frac{h}{K_r} - 0,6 \frac{h}{L} + 1,7, \quad (7)$$

где L — длина загружаемого трюма; K_r — абсолютная шероховатость байпаса; h — высота байпаса.

Турбулентность режима для обоих потоков подтверждена экспериментально, поэтому, как было отмечено выше, можно считать функцию $\lambda=f(\text{Re})$ постоянной и равной 3,2.

Из выражения (6) с учетом $q_1 + q_2 = q$ (q – производительность вентилятора в расчёте на единицу площади бортового трубопровода воздуха), следует:

$$q_2 = q \frac{\varepsilon \left(1 - \frac{h}{H}\right)}{\varepsilon \left(1 - \frac{h}{H}\right) + \frac{h}{H} \sqrt{\frac{\lambda d_2}{\lambda_1 d_3}}} \quad (8)$$

По зависимости (8) произведён расчёт для трюма с высотой $H=2,2$ м для ряда значений h и ε (рис.2).

На макете этого трюма для двух значений h было экспериментально проверено соотношение указанных потоков. Расход в байпасе определялся по значениям динамического давления и скорости воздуха, замеренным термоанемометром. Как видно из рис.2, общий характер кривых (при $h = 0.05$ м и $h = 0.15$) сохраняется, однако значения q_2 в опытах в среднем на 15 % превышают расчётные данные.

Это можно объяснить неучтёнными в расчёте местными сопротивлениями байпаса (со стороны груза). С достаточной для практических расчётов точностью можно пользоваться приведённой выше формулой (3), используя поправочный коэффициент, равный 1,15.

Таким образом, в результате проведённых экспериментов получены данные о коэффициентах аэродинамического сопротивления штабеля груза при его воздушном охлаждении. Для горизонтальной системы воздухораспределения определено количественное соотношение воздушных потоков, циркулирующих в штабеле груза и вне его. Полученные данные могут быть использованы при проектировании и эксплуатации воздушных систем охлаждения трюмов.

Список литературы

1. Аэров, М.Э. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем / М.Э. Аэров, О.М. Тодес. – М.: Химия, 1968.
2. Баканова, С.В. Эффективность воздухораспределения в помещениях с плотной загрузкой. Депонировано в ВИНТИ 26.04.96 №136 2-В.
3. Ломизе, Г.М. Фильтрация в трещиноватых породах / Г.М. Ломизе. – М.: Госэнергоиздат, 1951.
4. Золотов, С.С. Аэродинамика судовой вентиляции / С.С. Золотов. – Л.: Судостроение, 1967.

References

1. Aerov, M.E. Gidralichesky and thermal bases of work of devices with a stationary and boiling granular layer / M.E. Aerov, O.M. Todes. – M.: Chemistry, 1968.
2. Bakanova, S.V. Efficiency air distribution Singular air distribution. Plural air distributions in premises with dense loading. VINITI 26.04.96 №136 2-B.
3. Lomize, G.M. Filtratsija in cleaved breeds / G.M. Lomize. – M.: Gosenergoizdat, 1951.
4. Zolotov, S.S. Aerodynamics of ship ventilation / S.S. Zolotov. – L.: Shipbuilding, 1967.

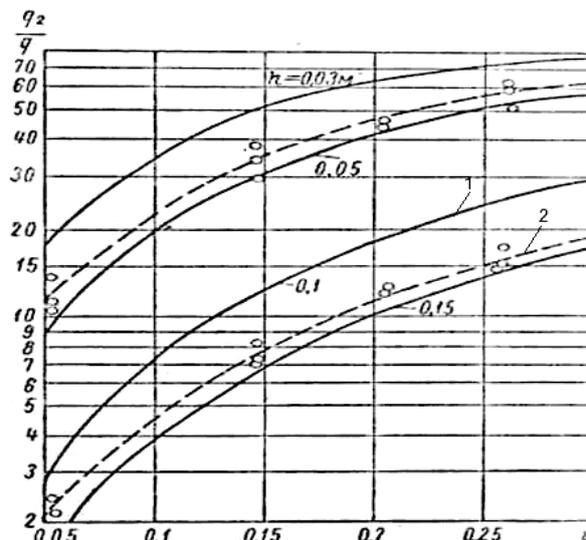


Рис. 2. Относительное количество воздуха, циркулирующего через штабель груза 1 – по формуле (8); 2 – опытные данные

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Аверкин Александр Григорьевич,
кандидат технических наук,
профессор кафедры «Теплогасоснабжение
и вентиляция»
E-mail: algraw@mail.ru

Еремкин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
советник при ректоре, зав. кафедрой
«Теплогасоснабжение и вентиляция»
Тел.: +7 (412) 92-94-10
E-mail: eremkin@pquas.ru

Тараканов Олег Вячеславович,
доктор технических наук, профессор, декан,
Почетный строитель РФ, Почетный работник
высшего профессионального образования
Тел.: (8412) 494847
E-mail: zig@pguas.ru

Грейсух Григорий Исаевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Физика»
ООО «Пензенские электрические сети»
Россия, г. Пенза, ул. Гагарина, д. 11б

Леонтьев Виктор Александрович,
кандидат технических наук, зам. начальника
Тел.: 89063984497

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Averkin Alexander Grigorievich,
Candidate of Science, Professor of the
department «Heating, Gas supply and
Ventilation»
E-mail: algraw@mail.ru

Eremkin Alexander Ivanovich,
Doctor of Science, Professor,
Adviser at a rector, Head of the department
«Heating, Gas Supply and Ventilation»
Tel.: +7 (412) 92-94-10
E-mail: eremkin@pquas.ru

Tarakanov Oleg Vyacheslavovich,
Doctor of Science, Professor, Decan,
Honorary builder of Russia, Honored Worker
of High Professional Education
Тел.: (8412) 494847
E-mail: zig@pguas.ru

Greisukh Grigoriy Isaevitch,
Doctor of Science, Professor,
Head of the Physics department
ООО «Penza electricity network»
Russia, Penza, 11b, Gagarina St.

Leontiev Victor Alexandrovich,
Candidate of Science, deputy. chief
Tel.: 89063984497

СОЗДАНИЕ БАКТЕРИЦИДНОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОАКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

А.Г.Аверкин, А.И.Еремкин, В.А.Леонтьев, О.В. Тараканов, Г.И. Грейсух

Приведено обобщение теоретических сведений о процессах электрохимической активации, оборудовании для получения электроактивированных сред (ЭАС).

Представлены результаты экспериментальных исследований физико-химических свойств ионного состава ЭАС. Получены регрессионные уравнения, описывающие влияние режимных параметров ЭАС на бактерицидность воздуха при его увлажнении.

Ключевые слова: тепловлажностная обработка воздуха, контактный аппарат, электрохимическая активация, анолит, католит, уравнение регрессии, бактерицидность воздушной среды.

DEVELOPMENT OF MICROBICIDES AIR ENVIRONMENT BASED ON THE USE OF ELECTRO ACTIVATED WATER IN AIR – CONDITIONING SYSTEMS

A.G. Averkin, A.I. Eremkin, V.A. Leontiev, O.V. Tarakanov, G.I. Greisukh

The authors generalized theoretical data on the processes of electrochemical activation and equipment for getting electro activated media (EAM).

They present experimental results of EAM ionic composition physical and chemical properties research. They have obtained regression equations that describe the influence of EAM parameters on air bactericidness at moisturing.

Keywords: heat and air treatment, contact device, electrochemical activation, anolyte, catholyte, the regression equation, germicidal air.

В 1979–1985 годах в Среднеазиатском НИИ природного газа В.М. Бахир и сотрудники его лаборатории совместно с учёными и специалистами различных предприятий провели экспериментальные исследования по оценке эффективности применения электрохимически активированных воды и растворов во многих технологических процессах нефтехимической, пищевой, оборонной и других отраслей промышленности [1]. Эти НИР послужили основой к созданию экологически чистых, эффективных и безопасных производств. Эффективность обуславливалась сокращением продолжительности технологических операций, экономией расходных материалов и др.

В последующие годы исследователи создают проточные электрохимические модульные реакторы (элементы ПЭМ) для электрохимической активации воды и разбавленных водных растворов. Было организовано серийное производство элементов ПЭМ и электрохимических установок различного назначения. Разработана технология очистки и кондиционирования воды, применяемая в установках типа «Изумруд», созданы установки «Аквахлор» для обеззараживания и очистки воды, использующие принципиально новую технологию – ионоселективный электролиз с диафрагмой. В целом же за период с 1995 по 2005 год отечественными предприятиями по разработкам В.М. Бахира произведено более 300 тыс. установок «Изумруд», способных обеспечивать людей чистой водой в бытовых и полевых условиях. Во многих городах России на водоочистных станциях работают установки «Аквахлор», которые эффективно обеззараживают питьевую воду, не образуя вредных побочных продуктов хлорирования. Сегодня более 30 тыс. таких установок действуют во многих лечебно-профилактических учреждениях России.

Электрохимическая активация (ЭХА) основана на процессах, характерных для электролиза [2]. Электрохимическая активация осуществляется путём катодной или анодной (униполярной) электрохимической обработки воды в диафрагменном электрохимическом реакторе [2]. Диафрагма выполняется в виде диэлектрической перегородки (в качестве материала могут использоваться брезент, ткани, керамика и др.), она располагается между электродами реактора.

В процессе ЭХА происходит изменение кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных свойств воды различной степени минерализации безреагентным методом с получением экологически чистых растворов. Раствор может быть использован в течение времени релаксации в технологических процессах.

В результате обработки вода в катодной камере реактора насыщается продуктами катодных электрохимических реакций: гидроксидами металлов, образовавшимися из растворённых солей, гидроксидионами, водородом. Воду после катодной электрохимической обработки называют *католитом*.

При анодной обработке на нерасходуемом электроде вода насыщается продуктами окисления: кислотами, синтезированными из растворённых солей, кислородом. Такая вода называется *анолитом*.

При пропускании через электролит постоянного тока происходит изменение химического состава жидкости: в зоне катода электроны присоединяются к ионам или молекулам, образуя продукты восстановления; в зоне анода ионы и молекулы теряют электроны – идёт процесс окисления. Обычная вода – химически нейтральная жидкость, но в то же время и слабый электролит, поскольку в ней обязательно растворены какие-либо вещества. В процессе электролиза около катода вода обретает явно щелочной характер, около анода – кислотный.

В электролизёре, как только отключается источник электрического тока, благодаря диффузионным процессам [1,2], достаточно быстро исчезает различие между катодной и прианодной водой – она становится снова нейтральной. Совсем иной характер обретает процесс, если исключить возможность перемешивания электролита.

Отмечается [1], что наиболее значительный запас потенциальной энергии вещество получает в процессе электрохимической активации, на втором месте по интенсивности воздействия на вещество оказывается механическая активация, на третьем и четвёртом соответственно – воздействие высокими температурой и давлением (баротермоактивация), магнитным полем (омагничивание воды). При униполярной электрохимической

обработке, как обычной водопроводной, так и воды, сильно минерализованной, происходит изменение её свойств [1,2]: электропроводности, поверхностного натяжения, плотности, окислительно-восстановительного потенциала Eh , водородного показателя pH . Изменяя параметры процесса обработки воды, например, силу тока и продолжительность его воздействия, – можно целенаправленно менять многие из этих свойств, в частности pH (у католита он колеблется от 7 до 12, а у анолита – от 2 до 7) и Eh (у католита изменяется от -200 до -850 мВ, а у анолита – от $+400$ до $+1200$ мВ).

Возможные значения pH , Eh электроактивированной воды представлены на рис. 1 [1].

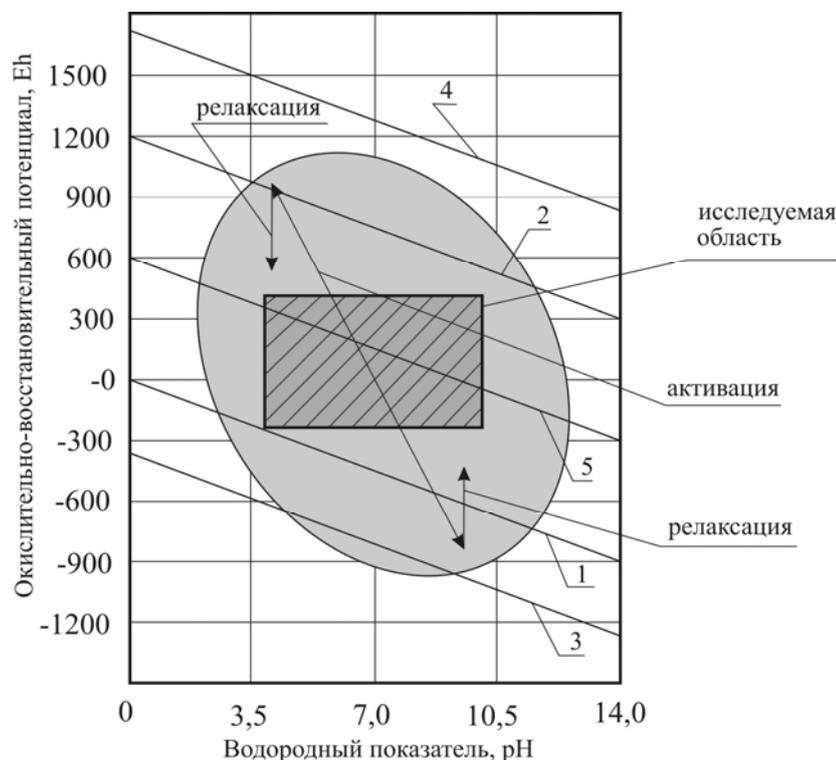


Рис. 1. Область возможных значений Eh и pH электрохимически активированной воды:

1, 2 – теоретические границы термодинамической устойчивости воды; 3,4 – границы термодинамической устойчивости веществ в продуктах электроактивации; 5 – теоретическая равновесная зависимость между pH и Eh

Католиту и анолиту присуща чрезвычайно высокая физико-химическая активность, которая по современным представлениям обусловлена тремя факторами [1]:

- стабильные продукты электрохимических реакций, успешно заменяя традиционные химические добавки, обеспечивают более высокую эффективность католита и анолита по сравнению с обычной водой;

- высокоактивные неустойчивые продукты электрохимических реакций (свободные радикалы) существенно усиливают проявление кислотных и окислительных свойств анолита, а также щелочных и восстановительных свойств католита;

- долгоживущие активированные структуры в областях, прилегающих к поверхности электродов, представлены свободными ионами, молекулами, атомами и радикалами. Именно они наделяют католит и анолит необычными свойствами.

Электроактивированная вода и растворы обладают следующими аномальными физико-химическими свойствами:

- имеют повышенную растворяющую способность;
- позволяют регулировать поверхностное натяжение как в сторону увеличения, так в сторону уменьшения, особенно при взаимодействии с другой жидкой фазой;
- позволяют регулировать в широких пределах адсорбционно-химическую активность поверхности твердых частиц, находящихся в электроактивированной жидкой среде;

– обладают каталитической способностью;
 – позволяют нейтрализовать коррозионно-агрессивные свойства жидких систем;
 – усиливают свойства веществ, растворенных в электроактивированной жидкой среде;

– обладают биологической активностью, в т. ч. бактерицидными свойствами и свойствами стимулятора метаболических процессов.

Изучение влияния ЭАС на бактерицидные свойства воздушной среды проводилось в следующей последовательности [3]:

– получение ЭАС и оценка показателей pH и Eh;
 – исследования ионного состава, физико-химических и биологических свойств полученных жидких ЭАС;

– определение оптимальных технологических параметров тепловлажностной обработки воздуха ЭАС в контактном аппарате в режиме адиабатического увлажнения [4, 5];

– оценка бактерицидных свойств воздушной среды, увлажненных ЭАС.

В качестве электроактиватора для получения ЭАС использовался диафрагменный электролизёр (рис. 2) [1].

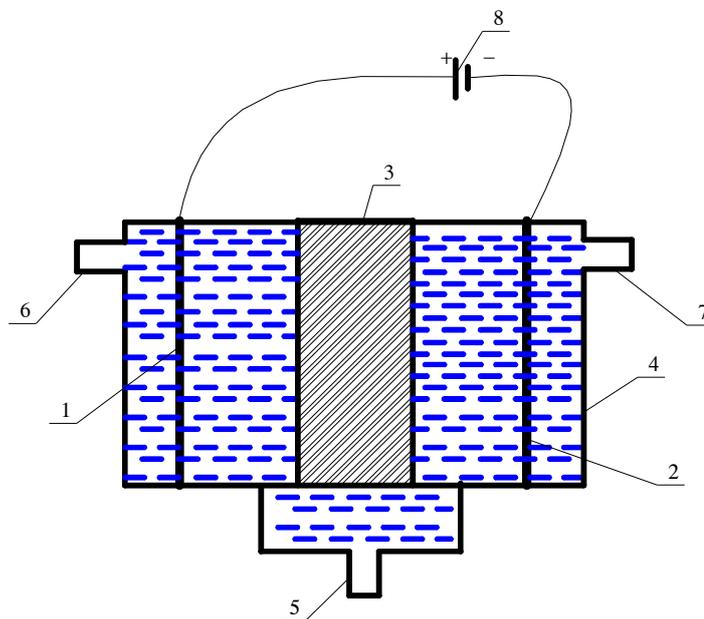


Рис. 2. Принципиальная схема электроактиватора:

1 – анод; 2 – катод; 3 – диафрагма; 4 – ёмкость; 5 – вход для ввода исходной жидкости;
 6 – выход для анолита; 7 – выход для католита; 8 – источник тока

Расход электрического тока определялся по формуле

$$g = \frac{I \cdot \tau}{V}, \quad (1)$$

где g – расход тока, Кл/дм³; I – сила тока, А; τ – время обработки, с; V – расход жидкости, дм³/с.

Расход электрического тока при получении ЭАС составил $24,7 \cdot 10^{-7}$ Кл/дм³.

Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 1, 2.

Для исходной воды и ЭАС определялись плотность, электропроводность, показатель преломления, поверхностное натяжение, общая жесткость, водородный показатель, редокс-потенциал, стабильность и ионный состав [3].

Из табл. 1 видно, что плотность, поверхностное натяжение у всех трех сред численно одинаковые. Максимальный показатель преломления был у водопроводной воды, у анолита – наиболее низкий, у католита он равен показателю преломления дистиллированной воды, т.е. соответствует 1,333.

Физико-химические свойства жидких сред

Рабочая среда	Показатели						
	Плотность, кг/м ³	Электропроводность, Ом ⁻¹	Поверхностное натяжение, Н/м	Показатель преломления*	Общая жесткость, мг-экв/л	Водо-родный показатель, рН	Редокс-потенциал, Eh, мВ
Вода водопроводная	995	34·10 ⁻⁵	71,06	1,335	3,00	7	–
Катодит	995	21·10 ⁻⁵	71,06	1,333	1,65	10	-245
Анолит	995	35·10 ⁻⁵	71,06	1,331	1,85	4	+425

Водородный показатель жидких сред определялся при помощи иономера ЭВ-74 [2]. Низкое среднее значение рН = 4 имел анолит, большее среднее значение рН = 10 имел катодит.

Т а б л и ц а 2

Ионный состав жидких сред

Среда	Ионный состав			
	Fe ²⁺ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л
Вода водопроводная	0,320	9,10	4,56	30,60
Анолит	1,700	14,90	7,34	47,70
Катодит	0,064	4,30	2,78	16,00

Ионный состав жидких сред определялся с помощью ионной хроматографии.

Из табл. 2 видно, что ионный состав ЭАС и водопроводной воды имеет существенное различие. Содержание ионов Fe²⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ у анолита выше, чем в исходной водопроводной воде (по ионам железа – в 5 раз, по ионам хлора, нитрат-ионам, сульфат-ионам – в 1,6 раза). В то же время у катодита содержание этих ионов ниже, чем в исходной водопроводной воде (по ионам железа – в 6 раз, по ионам хлора – в 2 раза, по нитрат-ионам – в 1,6 раза, по сульфат-ионам – в 1,9 раза).

Для оценки бактерицидности жидких ЭАС, полученных на электроактиваторе диафрагменного типа, проведены исследования в лаборатории городской инфекционной больницы г. Пензы и Центре Госсанэпиднадзора в Пензенской области [3].

Опыты проводились по стандартной методике [6]. В 10 мг исследуемой среды засеивали по 1 мг взвеси (10 единиц стандартной мутности) следующих культур: *Sf. aureus*, *E. coli*, *Microcose*, *Cor. xcrosis*, *Sf. cinreus*. Через 24 ч выдержки при температуре 37 °С производился высев по 0,1 мг на поверхность кровяного агара и подсчитывалось число колоний. Результаты исследований приведены в табл. 3.

Как видно из таблицы, анолит действовал на микроорганизмы угнетающе, т.е. роста числа колоний не было, а катодит способствовал развитию микроорганизмов. Также проводились исследования влияния жидких ЭАС на микроорганизмы рода *Salmonella* и рода *Shigella* [3,6]. Использовался метод культивирования микроорганизмов групп кишечной палочки. Микроорганизмы помещались в пробирки, в которые были налиты соответственно катодит, анолит и, для сравнения, обычная водопроводная вода. Высев выдерживался 24 ч при температуре 37 °С.

Результаты исследований бактерицидных свойств ЭАС

Культура	Число колоний		
	анолит	нейтральная среда	католит
<i>Sf. aureus</i>	5 колоний	Сливной рост	200 колоний
<i>E. coli</i>	Роста нет	Сливной рост	Сливной рост
<i>Microcose</i>	Роста нет	Сливной рост	Сливной рост
<i>Cor. xcrosis</i>	Роста нет	Сливной рост	Сливной рост
<i>Sf. cinreus</i>	Роста нет	Сливной рост	500 колоний

В условиях католита наблюдалось увеличение числа колоний микроорганизмов, анолит оказывал угнетающее действие на микроорганизмы, что приводило к их гибели. В нейтральной среде число колоний не изменялось.

Данные исследования подтвердили бактерицидные свойства полученных жидких ЭАС. Экспериментально установлено их различное биологическое влияние на микроорганизмы, способные существовать в жидкой среде.

В результате реализации полного факторного эксперимента и последующей оптимизации технологических параметров тепловлажностной обработки воздуха ЭАС в контактном аппарате при его адиабатическом увлажнении определены режимные показатели [5].

Коэффициент эффективности составил: $E_a = 0,44 \dots 0,53$ при применении анолита; $E_a = 0,58 \dots 0,69$ при применении католита. Коэффициент орошения варьировался от 0,6 до 1,7.

Следующим этапом экспериментальных исследований явилась оценка бактерицидных свойств воздуха, обработанного ЭАС. Режимные параметры процесса соответствовали его оптимальным значениям.

Экспериментальные исследования базировались на общепринятых методиках [6]. Использовался метод осаждения клеток микроорганизмов на плотных питательных средах (метод Коха), предусматривающий:

- определение общего содержания микробов в 1 м^3 воздуха;
- определение содержания золотистого стафилококка в 1 м^3 воздуха.

Отборы проб проводились аспирационным методом с помощью электрического переносного пробоотборного устройства. Оно предназначено для автоматического отбора проб биологических аэрозолей при проведении санитарного контроля атмосферного воздуха и воздуха различных помещений. Устройство обеспечивает отбор проб аэрозолей на плотную питательную среду импакционным осаждением. Диаметр аэрозольных частиц, улавливаемых с эффективностью 50 %, не более 1,4 мкм.

Для определения общего содержания бактерий в 1 м^3 воздуха забор проб осуществлялся на 2 %-й питательный агар. Посевы инкубировали при температуре $37 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 24 ч, затем оставляли на 24 ч при комнатной температуре, визуально подсчитывали количество выросших колоний и производили перерасчет на 1 м^3 воздуха. Концентрация микроорганизмов в исследуемом воздухе определялась по формуле

$$C = 1000 \cdot \frac{P}{Q}, \quad (2)$$

где C – концентрация частиц в воздухе, частиц/ м^3 ; P – вероятное число частиц в отобранной пробе; Q – объём отобранной пробы, дм^3 .

С целью оценки влияния ЭАС на бактерицидность воздушной среды проведены исследования с использованием математического метода планирования экспериментов [7].

На основании анализа априорной информации в качестве независимых параметров выбраны: водородный показатель среды – X_1 (4...7) с шагом варьирования 1,5; продолжительность воздействия воздушной среды – X_2 , (1...24 ч.) с шагом варьирования 11,5 ч. В качестве функции отклика Y принято число колоний микроорганизмов, содержа-

щихся в 1 м^3 воздуха. Все опыты дублировались и были рандомизированы во времени. Матрица планирования экспериментов и результаты ее реализации приведены в табл. 4.

В ходе экспериментов в помещение, в котором проводились исследования, вносились питательные среды с микроорганизмами, плотно закрывались и проклеивались скотчем окна, чтобы предотвратить инфильтрацию наружного воздуха, затем помещение печатывалось. Через двое суток – время, достаточное для развития микроорганизмов, производился отбор проб воздуха.

Т а б л и ц а 4

Матрица планирования эксперимента ПФЭ 2^2 и результаты её реализации

Номер опыта	Факторы		Функция отклика	\bar{Y}	s_y^2	\hat{Y}
	X_1	X_2	Y			
1	+	+	490/530	510	800	522,5
2	-	+	450/500	475	1250	462,5
3	+	-	200/230	215	450	227,5
4	-	-	280/320	300	800	287,5

Сначала отбиралась первая проба для определения фоновой концентрации, затем включалась установка для тепловлажностной обработки воздуха в помещении. Установка, работающая на нейтральной среде в режиме адиабатического увлажнения воздушного потока, через 1 ч выключалась, и отбиралась вторая проба. Третья проба отбиралась через 24 ч. Отбор воздушных проб производился в 2-х точках помещения с дублями, согласно работе [7]. Аналогично производился отбор проб воздуха, когда установка работала на электроактивированной среде.

Анализ пробы производился путем визуального подсчета колоний микроорганизмов на поверхности агара, количество которых соответствует числу частиц, содержащих живые микроорганизмы (колониеобразующие единицы, КОЕ) в отобранном объеме воздуха.

На основе регрессионного анализа опытных данных (табл.4) получено уравнение регрессии, адекватно описывающее функцию отклика при уровне значимости 0,05 [7].

$$\hat{Y} = 375 + 117,5 \cdot X_1 + 30 \cdot X_1 \cdot X_2. \quad (3)$$

При использовании анолита для увлажнения воздушной среды уравнение (3) примет вид

$$\hat{Y} = 257,5 - 30 \cdot X_2; \quad (4)$$

при использовании водопроводной воды:

$$\hat{Y} = 492,5 + 30 \cdot X_2. \quad (5)$$

При переходе от кодированных значений к натуральному виду уравнения (4) и (5) примут вид:

– для анолита

$$\text{КОЕ} = 284,1 - 2,36 \cdot \tau; \quad (6)$$

– для водопроводной воды

$$\text{КОЕ} = 459,4 + 2,61 \cdot \tau. \quad (7)$$

Из анализа уравнений (4), (6) следует: при снижении рН жидкой среды от 7 до 4 число колоний в воздухе заметно снижалось. Так, в результате обработки воздуха ЭАС (рН = 4) в течение 1 часа число колоний в нём уменьшилось с 462 до 287 (т.е. в 1,5 раза). В опытах, где воздух подвергался увлажнению ЭАС (рН=4) с последующей суточной выдержкой, число колоний уменьшилось с 522 до 227 (приблизительно, в 2 раза).

Анализ уравнений (5), (7) и (4) показывает, что число колоний микроорганизмов в воздухе, обработанных водопроводной водой, в течение суток увеличилось с 462 до 522, т.е. на 13 %; при увлажнении воздуха ЭАС с рН = 4 число микроорганизмов в воздухе за то же время уменьшилось с 287 до 227, что составляет 21 %.

Выводы. В результате проведения экспериментальных исследований определены основные физико-химические показатели, ионный состав жидких ЭАС. Водородный показатель рабочих проб ЭАС находился в интервале 4...10, значение редокс-потенциала изменялось от +425 до –245.

Ионный состав ЭАС зависит от области ее отбора в электроактиваторе: анолит имеет повышенное содержание катионов и анионов по сравнению с исходной водопроводной водой, католит – пониженное содержание ионов.

Установлено, что при помощи жидких ЭАС можно создавать бактерицидную воздушную среду в помещении. Экспериментально подтверждена возможность снижения числа колоний микроорганизмов в воздухе путём его адиабатического увлажнения в контактном аппарате электроактивированной средой с рН = 4.

Создание бактерицидных воздушных сред на основе ЭАС в системах кондиционирования воздуха можно рекомендовать для гражданских зданий различного назначения (образование, культура, медицина), предприятий агропромышленного комплекса: для парниковых хозяйств при выращивании овощей, цветов, при подготовке овощехранилищ к хранению продукции и др.

Список литературы

1. Бахир, В.М. Теоретические аспекты электрохимической активации / В.М. Бахир // Электрохимическая активация в медицине, сельском хозяйстве, промышленности. Второй международный симпозиум: тезисы докладов и краткие сообщения. – М.: ВНИИИМТ, 1999. – С. 39-49.
2. Рогов, В.М. Электрохимическая технология изменения свойств воды / В.М. Рогов, В.Л. Филипчук. – Львов: Вища школа, 1989. – 128 с.
3. Леонтьев, В.А. Тепловлажностная обработка воздуха с использованием электроактивированных жидких сред: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.А. Леонтьев. – Новгород: НГАСУ, 2002. – 23 с.
4. Аверкин, А.Г. Устройство для тепловлажностной обработки воздуха. Патент РФ № 2236647 / А.Г. Аверкин, А.И. Еремкин, В.А. Леонтьев // Б.И. 2004. № 26.
5. Аверкин, А.Г. Разработка оборудования для увлажнения и охлаждения воздуха / А.Г. Аверкин, А.И. Еремкин // Региональная архитектура и строительство – 2007. – №1. – С. 68–74.
6. Шлегель, Г. Общая микробиология: пер. с нем. / Г. Шлегель. – М.: Мир, 1987. – 567 с.
7. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 340 с.

References

1. Bahir, V.M. Theoretical aspects of electrochemical activation/ V.M. Bahir // In Sat Electrochemical activation in medicine, agriculture and industry. Second International Symposium. Abstracts and brief reports. – M.: VNIIMT, 1999. – P. 39–49.
2. Rogov, V.M. Electrochemical technology of change of the properties of water / V.M. Rogov, V.L. Filipchuk. – Lviv: «Highest School, 1989. – 128 p.
3. Leontiev, V.A. heat and air treatment with the use of electroactivated liquids: Author. Dis. Cand. Tekhn. Science / V.A. Leontiev. – N-Novgorod: NGASU, 2002. – 23 p.
4. Averkin, A.G. Device for heat-humid air treatment. Patent RF ¹ 2236647 / A.G. Averkin, A.I. Eremkin, V.A. Leont'ev // BI 2004. № 26.
5. Averkin, A.G. Development of equipment for moistening, and cooling of the air / A.G. Averkin, A.I. Eremkin // Regional architecture and construction. – 2007. – №1. – P. 68–74.
6. Schlegel, G. General Microbiology: trans, with him / G. Schlegel. – M.: Mir, 1987. – 567 p.
7. Nalimov, V.V. Statistical methods for planning extreme experiments / V.V. Nalimov, N.A. Chernova. – M.: Nauka, 1965. – 340 p.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. 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.

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

Князев Владимир Александрович,
аспирант кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
Тел.: 92-95-08(доп. 11-88)

Давыдов Геннадий Павлович,
аспирант кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
Тел.: 92-95-08(доп. 11-88)

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

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

Garkina Irina Aleksandrovna,
Doctor of Science, Professor of the
department «Mathematics and mathematical
modelling»
E-mail: pmi@pguas.ru

Knyazev Vladimir Aleksandrovich,
Postgraduate of the department «Water supply,
sewerage and hydraulic engineering»
Tel.: 95-92-08 (доп. 11-88)

Davydov Gennadiy Pavlovich,
Postgraduate of the department «Water
supply, sewerage and hydraulic engineering»
Tel.: 95-92-08 (доп. 11-88)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

С.Ю. Андреев, Б.М.Гришин, И.А.Гарькина, В.А.Князев, Г.П.Давыдов

Приведена методика расчета кинетики процесса сорбционной очистки сточных вод. Использование предложенной методики позволит оптимизировать параметры процессов очистки сточных вод и существенно понизить остаточные концентрации загрязняющих веществ.

Ключевые слова: сточные воды, адсорбция, растворенные примеси, скорость массопередачи, равновесная концентрация.

MATHEMATICAL MODELLING OF SORPTION WASTE WATER PURIFICATION PROCESS KINETICS

S.Yu. Andreev, B.M. Grishin, I.A. Garkina, V.A. Knyazev, G.P. Davydov

The methodology of sorption waste water purification process kinetics is suggested. The given methodology application allows to find optimum of waste water treatment process parameters and lower essentially the remaining concentrations of pollutions.

Keywords: waste water, adsorbent, mass transfer velocity, equilibrium concentration.

Увеличивающиеся масштабы потребления питьевой и технологической воды на фоне постоянно возрастающих требований к ее качеству обуславливают необходимость разработки все более эффективных способов удаления загрязняющих веществ. Среди методов, успешно применяющихся для решения этой задачи, широкое распространение получила технология сорбционной очистки.

Сорбция представляет собой один из наиболее эффективных методов глубокой очистки от растворенных органических веществ сточных вод предприятий целлюлозно-бумажной, химической, нефтехимической, текстильной и других отраслей промышленности. Сорбционная очистка может применяться самостоятельно и совместно с биологической очисткой как метод предварительной и глубокой очистки. Преимуществами этого метода являются возможность адсорбции веществ многокомпонентных смесей и, кроме того, высокая эффективность очистки, особенно слабokonцентрированных сточных вод. Сорбционные методы весьма эффективны для извлечения из сточных вод ценных растворенных веществ с их последующей утилизацией и использования очищенных сточных вод в системе оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

Адсорбция растворенных веществ – результат перехода молекулы растворенного вещества из раствора на поверхность твердого сорбента под действием силового поля поверхности. При этом наблюдается два вида межмолекулярного взаимодействия: молекул растворенного вещества с молекулами (или атомами) поверхности сорбента и молекул растворенного вещества с молекулами воды в растворе (гидратация). Разность этих двух сил межмолекулярного взаимодействия и есть та сила, с которой удерживается извлеченное из раствора вещество на поверхности сорбента. Чем больше энергия гидратации молекул растворенного вещества, тем большее противодействие испытывают эти молекулы при переходе на поверхность сорбента и тем слабее адсорбируется вещество из раствора.

Сорбционная очистка сточных вод наиболее рациональна, если в них содержатся гидрофобные вещества.

Метод сорбции применяется при очистке производственных сточных вод от ионов тяжелых металлов.

Особое значение имеет применение адсорбционной технологии для удаления органических веществ из биологически очищенных сточных вод с целью получения технической воды, отвечающей нормам качества для использования в замкнутых системах промышленного водоснабжения, так как это направление в адсорбционной технологии позволяет резко сократить потребление промышленностью пресной воды из природных источников. Эти обстоятельства явились стимулом для развития работ по адсорбции растворенных веществ во всех основных развитых странах.

Высокая эффективность адсорбционных методов очистки сточных вод может быть достигнута только в тех случаях, когда технология разработана на базе теории адсорбции и подкреплена правильно поставленными исследованиями равновесия и кинетики адсорбции компонентов раствора. При таких исследованиях нужно учитывать условия существования молекул извлекаемых веществ в водном растворе, т.е. степень ионизации, ассоциацию, присутствие других соединений в реальной многокомпонентной системе. Пренебрежение же основами теории адсорбции растворенных веществ наиболее распространенная причина неудачных попыток решения экологических задач при помощи адсорбционных процессов.

Теория адсорбции растворенных веществ выходит далеко за рамки классической теории адсорбции газов и паров. Даже в простейшем случае адсорбции одного растворенного вещества приходится рассматривать поведение двухкомпонентной конденсированной системы (растворитель и растворенное вещество) на границе раздела жидкость – поверхность твердого сорбента. При этом нельзя рассматривать, как это часто до сих пор делается особенно в технологических расчетах, растворитель как некую гомогенную инертную среду, в которой молекулы растворенного вещества ведут себя подобно молекулам газа. Прежде всего при анализе адсорбции растворенных веществ приходится учитывать явление сольватации (гидратации в водных растворах) и связанную с ним растворимость органического компонента. Необходимо также исходить из того, что при контакте адсорбента с двухкомпонентной или многокомпонентной системой раствора не существует свободной поверхности твердого тела. Вся она взаимодействует с молекулами, присутствующими в растворе, и лишь взаимное вытеснение молекул компонентов раствора, различающихся энергией взаимодействия с атомами поверхности, приводит к избирательной адсорбции одного из компонентов, т.е. к цели любого адсорбционного технологического процесса.

В связи с тем, что построение теоретической (детерминированной модели) сорбционной технологии очистки сточных вод, корректно описывающей всю сложную

совокупность последовательно происходящих физико-химических процессов, не представляется возможным, в последнее время широкое распространение получил кинетический подход к этой проблеме, в рамках которого предполагается изучение скорости изъятия органических загрязнений сорбентом.

Движущей силой процесса адсорбции является разность концентраций растворенного вещества в объеме раствора и на поверхности адсорбента, которые со временем выравниваются. Скорость приближения процесса адсорбции из раствора к состоянию равновесия dm/dt , г/с, можно представить в виде уравнения:

$$dm/dt = -\beta_{\Pi} S_{\Pi} (C_0 - C_p), \quad (1)$$

где dm – масса вещества, г, извлекаемая из жидкости сорбентом за период времени dt , с; C_0 и C_p – соответственно концентрации извлекаемого вещества в растворе в данный момент времени и в состоянии равновесия, г/м³; β_{Π} – поверхностный коэффициент массопереноса, м/с; S_{Π} – площадь межфазового контакта поверхности раздела фаз сорбент-жидкость, м².

Площадь межфазового контакта определяется по уравнению

$$S_{\Pi} = V_{\text{ж}} \cdot D_{\text{с}} \cdot S_y, \quad (2)$$

где $V_{\text{ж}}$ – объем обрабатываемой воды, м³; $D_{\text{с}}$ – доза сорбента, г/м³; S_y – удельная внешняя поверхность зерен сорбента, м²/г.

Удельная внешняя поверхность контакта фаз сорбент-жидкость может быть определена как

$$S_y = S_{\text{ч}} \cdot N_{\text{ч}}, \quad (3)$$

где $S_{\text{ч}}$ – средняя площадь одной частицы сорбента, м²/шт.; $N_{\text{ч}}$ – количество частиц в единице массы сорбента, шт./г.

Количество частиц в единице массы сорбента определяется как отношение объемов всех частиц в единице массы сорбента W к объему одной частицы $W_{\text{ч}}$:

$$N_{\text{ч}} = \frac{W}{W_{\text{ч}}} = \frac{W_{\text{с}}(1-\varphi)}{W_{\text{ч}}}, \quad (4)$$

где $W_{\text{с}}$ – объем занимаемой навеской сорбента, весом 1 г, м³/г; φ – межзерновая пористость навески сорбента.

Поскольку для сферической частицы сорбента, диаметром $d_{\text{с}}$,

$$S_{\text{ч}} = \pi d_{\text{с}}^2; W_{\text{ч}} = \frac{\pi d_{\text{с}}^3}{6}, \quad (5)$$

то

$$S_y = \pi d_{\text{с}}^2 \cdot \frac{W_{\text{с}}(1-\varphi)}{\pi d_{\text{с}}^3 / 6} = \frac{6}{d_{\text{с}}} W_{\text{с}}(1-\varphi). \quad (6)$$

Для частиц сорбента, имеющих произвольную форму, формула запишется в виде:

$$S_y = \frac{6K_{\text{ф}}}{d_{\text{с}}} W_{\text{с}}(1-\varphi), \quad (7)$$

где $K_{\text{ф}}$ – коэффициент формы зерна сорбента, являющийся отношением площади его поверхности к площади поверхности равновеликого по объему шара.

Полную удельную поверхность S_y определяют в ходе аэродинамических испытаний слоя сорбента на приборе ПСХ-2 по стандартной методике исследования характеристик сыпучих материалов.

В практике скорость массопередачи удобно выражать в единицах концентрации dc/dt , г/(м³·с). С этой целью в уравнение (1) вводится объем обрабатываемой воды $V_{\text{ж}}$:

$$dc/dt = dm / V_{\text{ж}} \cdot dt = -\beta_{\Pi} \cdot D_{\text{с}} \cdot S_y (C_0 - C_p). \quad (8)$$

Произведение $D_C \cdot S_y$ является площадью межфазового контакта, приходящейся на единицу объема жидкости, которая называется удельной межфазовой поверхностью S_{yV} , m^2/m^3 .

Произведение этой площади на поверхностный коэффициент скорости массопередачи называют объемным коэффициентом скорости массопередачи β , s^{-1} , который равен

$$\beta = \beta_{\Pi} \cdot D_C \cdot S_y = \beta_{\Pi} \cdot S_{yV}. \quad (9)$$

С учетом (9) уравнение (9) примет вид:

$$dc/dt = -\beta (C_0 - C_p). \quad (10)$$

Согласно теории диффузионного массопереноса, используемой в практике очистки сточных вод при разработке процессов адсорбции, скорость процесса адсорбции определяется скоростью переноса молекулы растворенного вещества через вязкий пограничный слой жидкости к внешней поверхности зерна адсорбента (внешнедиффузионная кинетика) и скоростью переноса молекул адсорбируемого вещества внутри зерна адсорбента (внутридиффузионная кинетика).

Через вязкий пограничный слой жидкости молекулы растворенного вещества могут проникнуть к внешней поверхности зерна адсорбента только путем диффузии.

Скорость диффузии зависит, как известно, от градиента концентраций.

Концентрация раствора на внешней границе вязкого пограничного слоя такая же, как и во всем объеме перемешиваемой жидкости. Концентрация раствора на границе с твердым телом зависит от условий диффузии молекул адсорбируемого вещества на этой поверхности, от величины внешней поверхности зерна адсорбента и скорости транспорта раствора внутрь зерна по каналам его макро-, мезо- и микропор.

Если скорость диффузии вещества от внешней поверхности зерна в поры, пронизывающие его массу, намного больше скорости диффузии молекул через пограничный жидкий слой, то на внешней поверхности зерна концентрация адсорбирующегося вещества равна нулю.

В этих условиях общая скорость поглощения вещества из раствора пористым зерном адсорбента определяется скоростью диффузии через пограничный слой жидкости, т.е. диффузией вещества – внешней по отношению к адсорбенту – или внешним массопереносом (коэффициент скорости внешнего массопереноса – $\beta_{\text{вне}}$).

Скорость внешнего массопереноса зависит от величины гидродинамического режима движения жидкости (от развития турбулентности в потоке, обеспечивающей более быструю доставку молекул растворенного вещества к внешней границе слоя, чем диффузия их через слой к его внутренней границе).

Скорость диффузии молекул внутри зерна адсорбента определяется многими факторами: структурой пористости зерна, градиентом концентрации вещества в направлении от внешней границы к центру зерна и концентрацией адсорбированного вещества на внешней поверхности зерна, во многом определяющей этот градиент. Такая равновесная величина адсорбции на внешней поверхности зерна связана с концентрацией раствора в прилегающем к границе зерна слое жидкости уравнением изотермы адсорбции.

Следовательно, если диффузия через жидкий пограничный слой протекает достаточно быстро, то скорость адсорбции будет зависеть только от скорости отвода адсорбированного вещества от внешней поверхности зерна внутрь по системе пор, т.е. будет определяться коэффициентом скорости внутреннего массопереноса ($\beta_{\text{вну}}$).

До тех пор, пока общая скорость процесса определяется внешним массопереносом, процесс можно интенсифицировать, увеличивая турбулентность перемешивания.

Если же скорость адсорбции определяется внутренним массопереносом, то повышение интенсивности перемешивания повлиять на процесс не может, и для заданного адсорбента единственным путем ускорения достижения адсорбционного равновесия является сокращение пути внутренней диффузии за счет уменьшения радиуса зерна адсорбента.

Вследствие этого очень важно для адсорбционной технологии очистки воды выявить характер сопротивления массопереносу при адсорбции растворенных веществ в

конкретных условиях технологического процесса и установить граничные условия, при которых наступает переход внешнего массопереноса к внутреннему массопереносу.

Установить вклад в процесс сорбции внешне- и внутридиффузионных стадий массопереноса позволяют исследования зависимости скорости адсорбции от гидродинамического режима движения жидкости.

При определяющей роли процессов внешнего массопереноса скорость изъятия загрязнителя из сточных вод сорбентом будет зависеть от интенсивности перемешивания и являться функцией поверхностного коэффициента скорости внешнего массопереноса β_{Π} и коэффициента эффективной диффузии D_3 , м²/с.

Зависимость коэффициента эффективной диффузии D_3 от поверхностного коэффициента скорости внешнего массопереноса β_{Π} была получена Р.М. Марутовским [3]. Полученная им зависимость имеет вид

$$\text{Nu} = 0,504 \cdot \text{Re}^{0,206} \text{Pr}^{1/3}, \quad (11)$$

где Nu – Критерий Нуссельта, равный:

$$\text{Nu} = \beta_{\Pi} d_3 / D_3; \quad (12)$$

d_3 – эффективный диаметр зерна адсорбента, м;

Pr – критерий Прандтля, равный:

$$\text{Pr} = \nu / D_3; \quad (13)$$

здесь ν – кинематический коэффициент вязкости, м²/с;

Re – критерий Рейнольдса, равный:

$$\text{Re} = \varepsilon d_3^4 / \nu^3, \quad (14)$$

здесь ε – удельная мощность, затрачиваемая на перемешивание жидкости с адсорбентом, Вт/кг, м²/с³.

Из уравнения (11) получаем выражение для определения величины D_3 :

$$D_3 = [\beta_{\Pi} / 0,504 (\nu^{1,384} \cdot d_3^{0,854} / \varepsilon)^{0,206}]^{3/2}. \quad (15)$$

Значение коэффициента β может быть определено из уравнения (10) представленного в форме

$$dc/dt = -\beta (C - C_p). \quad (16)$$

Разделяя переменные и интегрируя уравнение (16) в интервале изменения переменных от 0 до t и от C_0 до C_t , получим:

$$\beta = \frac{1}{t} \ln \frac{C_0 - C_p}{C_t - C_p}, \quad (17)$$

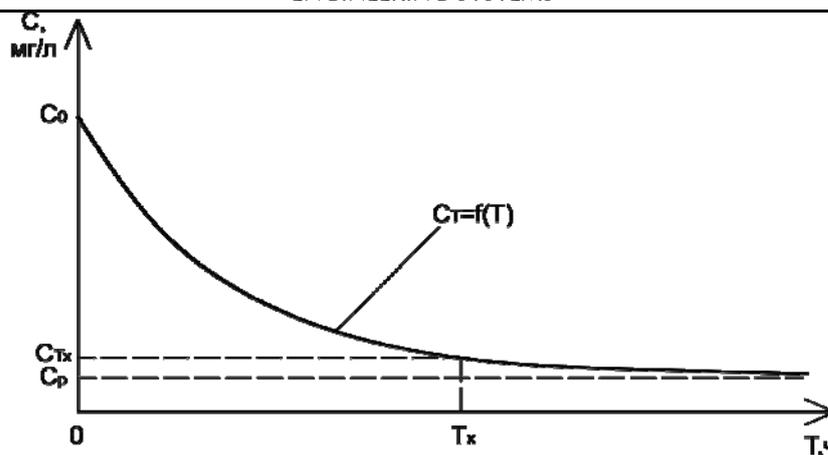
где C_0 , C_t – соответственно концентрации загрязняющего вещества в сточных водах в начальный момент времени и через t с процесса сорбции, мг/л.

В литературных источниках не приводятся конкретные методики для определения равновесной концентрации извлекаемого вещества в растворе C_p . Так, в работе (4) предлагается в качестве равновесной концентрации сорбируемого вещества в растворе принимать концентрацию вещества в фугате, образующемся после обработки на центрифуге смеси сточных вод с сорбентом, контактирующих в течение некоторого времени T .

Кинетика процесса снижения концентрации сорбируемого вещества в растворе представлена на рисунке.

Равновесной концентрацией называют концентрацию сорбируемого вещества в растворе в момент времени T_p , когда количество сорбируемого из раствора (в ед. времени) молекул вещества становится равным количеству молекул вещества, переходящих с поверхности сорбента в раствор, при этом концентрация извлекаемого компонента в растворе остается постоянной величиной.

Таким образом, необходима разработка математического метода, позволяющего определить точное значение величины C_p и погрешности $\Delta C = C_T - C_p$.



Зависимость концентрации сорбируемого вещества в растворе C от времени его обработки сорбентом T :

C_0 – начальная концентрация сорбируемого вещества в растворе, мг/л;

C_T – концентрация сорбируемого вещества в растворе в момент времени T , мг/л;

C_p – равновесная концентрация сорбируемого вещества в растворе, мг/л

Точное значение концентрации извлекаемого в процессе сорбции вещества в момент времени T можно определить по формуле

$$C_T = (C_0 - C_p) \cdot e^{-\beta T} + C_p. \quad (18)$$

Значение коэффициента β_n может быть определено по уравнению

$$\beta_n = \beta / D_c \cdot S_y. \quad (19)$$

Используя уравнения (15), (17), (19), можно вычислить значение эффективного коэффициента диффузии и определить характер процесса сорбции.

Список литературы

1. Жуков, А.И. Канализация промышленных предприятий / А.И. Жуков, Л.Г. Демидов. – М.: Стройиздат, 1969.
2. Яковлев, С.В. Водоотведение и очистка сточных вод / С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов. – М.: АСВ, 2004.
3. Когановский, А.М. Адсорбции органических веществ из воды / А.М. Когановский. – Л.: Химия 1990.
4. Калицун, В.И. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод / В.И. Калицун, Ю.М. Ласков [и др.]. – М.: Стройиздат, 2000.

References

1. Zhukov, A.I. Industrial interprices sewerage / A.I. Zhukov, L.G. Demidov. – M.: Stroyizdat, 1969.
2. Yakovlev, S.V. Water sewerage and purification / S.V. Yakovlev, Yu.V. Voronov. – M.: ACB, 2004.
3. Koganovsky, A.M. Adsorption of organic substance from water / A.M. Koganovsky. – L.: Chemistry, 1990.
4. Kalitsun, V.I. Laboratory works on water sewerage and purification / V.I. Kalitsun, Yu.M.Laskov. – M.: Stroyizdat, 2000.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Королева Тамара Ивановна,
кандидат экономических наук,
профессор кафедры «Теплогасоснабжение
и вентиляция»
E-mail: korolevatamara@mail.ru

Салмин Владимир Васильевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Эксплуатация
автомобильного транспорта»
E-mail: salmin-penza@yandex.ru

Ежов Евгений Григорьевич,
доктор физико-математических наук,
доцент кафедры «Информационно-
вычислительные технологии»
Тел.: +7 (412) 42-05-03; 53-42-45;
+7 (412) 52-05-60

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Koroleva Tamara Ivanovna,
Candidate of economic science,
Professor of department «Heat and gas
supply»
E-mail: korolevatamara@mail.ru

Salmin Vladimir Vasilievich,
Doctor of Science, Professor,
Head of the department «Exploitation
of automobile transport»
E-mail: salmin-penza@yandex.ru

Ezhov Evgeniy Grigorievich,
Doctor of physico-mathematical sciences,
Associate professor of the department
«Information and computer technologies»
Tel.: +7 (412) 42-05-03; 53-42-45;
+7 (412) 52-05-60

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА АВТОНОМНЫЙ ИСТОЧНИК ТЕПЛОТЫ

Т.И. Королева., В.В. Салмин, Е.Г. Ежов

Высокая эффективность использования тепловой энергии в системах теплоснабжения на базе автономных источников теплоты (АИТ) на газообразном топливе может быть достигнута за счет применения рациональной тепловой схемы АИТ. Экономическую целесообразность устройства АИТ определяют исходя из сравнительной экономической эффективности капитальных вложений, необходимых для осуществления такого мероприятия.

Ключевые слова: теплоснабжение, автономные источники теплоты, энергосбережение, эффективность.

ENERGY-SAVING TECHNOLOGY EFFICIENCY IN THE TRANSITION TO INDEPENDENT SOURCE OF HEAT

T.I. Koroleva, V.V. Salmin, E.G. Ezhov

High efficiency of thermal energy use in heat supply systems on the basis of autonomous sources of heat (ASH) for gaseous fuels can be achieved through the use of efficient thermal circuit of ASH. The economic viability of the device ASH is determined on the basis of the comparative economic efficiency of capital investments necessary for implementation of such activities.

Keywords: heat supply, autonomous sources of heat (ASH), energy efficiency, efficiency.

В последнее время очень часто для отопления различных производственных, жилых, складских и иных объектов стали использоваться автономные котельные, которые при относительно низком уровне затрат позволяют обеспечить потребителя теплом. Автономные котельные для теплоснабжения конкретных объектов могут рассматриваться как наиболее рациональное инженерное решение, обеспечивающее на самом низком уровне централизации все преимущества централизованного [1].

Отсутствие протяженных внешних тепловых сетей и обслуживание преимущественно однотипных потребителей (конкретного потребителя) позволяют практически

исключить потери теплоносителя в тепловых сетях и потери от совмещения графиков отпуска теплоты разнотипными потребителями, используя все преимущества местного регулирования.

Высокая эффективность использования тепловой энергии в системах теплоснабжения на базе автономных источников теплоты (АИТ) на газообразном топливе может быть достигнута не только за счет применения высокоэффективных котлов (включая конденсационные), но и за счет применения рациональной тепловой схемы АИТ, обеспечивающей надлежащие теплогидравлические режимы работы основного и вспомогательного оборудования при всех нагрузках, а не только в режимах максимального и минимального теплопотребления.

Последнее положение исключительно важно как с позиции экономии тепловой энергии в случаях технологически обусловленного неправильного регулирования отпуска теплоты – «перетопов», так и с позиции обеспечения защиты оборудования котельной от нерациональных режимов эксплуатации, приводящих к интенсификации низкотемпературной коррозии, недопустимому снижению расхода теплоносителя в котлах, неоправданному перерасходу электроэнергии, потерям теплоносителя, отложениям накипи и другим факторам, существенно снижающим эксплуатационные показатели надежности и долговечности работы оборудования АИТ и местных систем теплопотребления.

На объектах реконструкции и нового строительства в России наибольший «удельный вес» имеют автономные газовые котельные мощностью 0,5–2,5 МВт, в большинстве случаев – пристроенные или встроенные, реже крышные, выполненные в виде как транспортабельных агрегатно-блочных компоновок, так и стационарных зданий и помещений.

Наиболее простые технические решения имеют место для технологических нагрузок, в большинстве случаев отличающихся постоянством теплопотребления и стабильностью параметров теплоносителя (как сезонной, так и суточной) [2].

Иначе обстоит дело при обеспечении теплом смешанных потребителей технологических и жилищно-коммунальных, или только потребителей ЖКХ, для которых характерны сезонные и суточные изменения нагрузок отопления и вентиляции, значительные часовые колебания теплопотреблений на цели ГВС (с коэффициентом неравномерности для малых нагрузок, доходящих до 4–5), а также большого количества специфических потребителей: системы подогрева воды в бассейнах, отопление и вентиляция гаражей, зимних садов, «теплые полы» и др.

Необходимость независимого подключения нагрузки может быть обусловлена большими значениями гидростатического давления для оборудования АИТ при его монтаже, например, на нижних отметках в зонах многоэтажной застройки. В общем случае использование независимых схем гидравлически полностью разделяет внешних потребителей от тепловой схемы АИТ и позволяет технически обеспечить стабильные гидравлические условия работы котлов во всех режимах теплопотребления, что может быть весьма важным, учитывая все более широкое внедрение методов количественного регулирования отпуска теплоты у местных потребителей систем отопления и вентиляции.

На цели горячего водоснабжения отпуск теплоты от автономного источника по ряду очевидных причин возможен практически только по независимой схеме с установкой не менее двух проточных водонагревателей на максимум потребления ГВС со 100-% резервированием мощности теплообменников [2, 3, 4].

Важнейшим моментом при обосновании выбора тепловой схемы АИТ для обеспечения гидравлической стабильности в контуре котлов являются принятые условия управления на базе качественного или количественного регулирования отпуска теплоты. В силу ряда технологических причин использование в чистом виде и погодозависимого, и термостатического регулирования отпуска теплоты не представляется возможным [6].

Наиболее стабильные гидравлические условия работы котлов при обеспечении требуемых тепловых режимов в местных системах может обеспечить термостати-

ческое регулирование температуры теплоносителя только в подающей магистрали котлов при переменных температурах в обратной магистрали котлов (соответствующей текущему значению нагрузок) и сохранении постоянного расхода теплоносителя через котлы. В то же время теплогидравлические режимы в отдельных местных системах отопления и вентиляции, а также ГВС обеспечиваются за счет работы местных смесительно-регулирующих узлов.

Для определения целесообразности устройства автономного источника теплоты необходимо произвести технико-экономическое обоснование выбранного варианта. Экономическую целесообразность их применения определяют исходя из сравнительной экономической эффективности капитальных вложений, необходимых для осуществления такого мероприятия, т.е. сопоставляют затраты и результаты, полученные при этих затратах [8].

Расчет основных технико-экономических показателей работы котельной на стадии проектирования проводится для осуществления технико-экономическую целесообразность их применения определяют исходя из сравнительной экономической эффективности капитальных вложений, необходимых для осуществления такого мероприятия, т.е. сопоставляют затраты и результаты, полученные при этих затратах [8].

Расчет основных технико-экономических показателей работы котельной на стадии проектирования проводится для осуществления технико-экономического обоснования проектного варианта. После пуска котельной в эксплуатацию также проводится расчет системы технологических и экономических показателей для оценки экономической эффективности, технического уровня и эксплуатационных качеств работающей котельной.

Установленная мощность котельной, МВт, определяется по формуле

$$Q_{\text{уст}} = Q_{\text{ном}} \cdot n,$$

где $Q_{\text{ном}}$ – номинальная мощность котлов, МВт; n – количество котлов в котельной, шт.

$$Q_{\text{уст}} = 0,25 \cdot 2 = 0,5 \text{ МВт.}$$

Годовой отпуск тепла на отопление, ГДж/год, рассчитывается по выражению

$$Q_{\text{от}} = 24 \cdot 0,0036 \cdot Q_{\text{ср}} \cdot n_o,$$

где n_o – продолжительность отопительного периода, сут; $Q_{\text{ср}}$ – средний расход теплоты за отопительный период, кВт; рассчитывается исходя из величины максимального годового расхода теплоты на системы отопления $Q_{\text{ср}}$ в зависимости от удаленной тепловой характеристики зданий:

$$Q_{\text{ср}} = Q_{\text{от}}^p \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{ср.от}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}},$$

где $t_{\text{в}}$ – температура внутреннего воздуха, °С; $t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, °С; $t_{\text{ср.от}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С;

$$Q_{\text{ср}} = 150 \cdot \frac{18 + 4,5}{18 + 29} = 72 \text{ кВт;}$$

$$Q_{\text{от}} = 24 \cdot 0,0036 \cdot 72 \cdot 207 = 1288 \text{ ГДж/год.}$$

Годовой отпуск теплоты на вентиляцию определяется аналогичным способом, исходя из расчетного расхода тепла калориферными агрегатами систем воздушного отопления, получим:

$$Q_{\text{вен}} = 0,0036 \cdot z \cdot Q_{\text{ср}} \cdot n_o = 672,4 \text{ ГДж/год,}$$

где z – усредненное за отопительный период число часов работы систем вентиляции в течение суток.

Средний расход теплоты зависит от удельной тепловой характеристики здания для систем вентиляции.

$$Q_{\text{ср}} = Q_{\text{в}}^{\text{р}} \cdot \frac{t_{\text{пр}} - t_{\text{ср.от}}}{t_{\text{пр}} - t_{\text{нач}}} = 56,4 \text{ кВт},$$

где $t_{\text{нач}}$ – расчетная температура наружного воздуха, °С, для проектирования систем вентиляции.

Годовой отпуск теплоты на нужды горячего водоснабжения, ГДж/год, определяется по выражению

$$Q_{\text{ГВС}} = 24 \cdot 0,0036 \cdot (Q_{\text{ср}} n_o + [350 - n_o] Q_{\text{лет}}) = 960 \text{ ГДж/год},$$

где $Q_{\text{ср}}$, $Q_{\text{лет}}$ – соответственно, средний расход теплоты на горячее водоснабжение за отопительный период и летние периоды года, кВт;

Годовой отпуск теплоты котельной определяется по формуле

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{от}} + Q_{\text{ГВС}} + Q_{\text{вент}} = 2921 \text{ ГДж/год}.$$

Годовая выработка теплоты котельной определяется по формуле

$$Q_{\text{выр}} = \frac{Q_{\text{год}} \cdot 10^2}{\eta_{\text{т.п}}} = 3011 \text{ ГДж/год},$$

где $\eta_{\text{т.п}}$ – коэффициент теплового потока, %, приближенно принимается равным 97 % для котельных с котлоагрегатами мощностью менее 10 Вт.

Число часов, ч/год, использования установленной мощности котельной в году определяется из выражения

$$h_{\text{уст}} = \frac{Q_{\text{выр}}}{3,6 \cdot Q_{\text{уст}}} = 1673 \text{ ч/год}.$$

Удельный расход топлива на 1 ГДж отпущенной теплоты зависит от КПД (брутто) котельного агрегата $\eta_{\text{бр}}$, %, и низшей теплоты сгорания рабочей массы $Q_{\text{н}}^0$, МДж/м³:

$$b_y = \frac{340}{\eta_{\text{бр}} \cdot \eta_{\text{т.п.}}} = 0,038 \text{ ту.т/ГДж};$$

$$b_{\text{н}} = \frac{b_y \cdot 29,3}{Q_{\text{н}}^0} = 0,032 \text{ ту.т/ГДж}.$$

Годовой расход натурального топлива, тнт/год, определяется исходя из удельных показателей расхода топлива:

$$B_{\text{н}} = b_{\text{н}} \cdot Q_{\text{год}} = 93,47 \text{ тнт/год}.$$

Годовой расход электроэнергии на собственные нужды котельной $\mathcal{E}_{\text{год}}$, кВт/год, зависит от установленной мощности токоприемников и числа часов их работы и определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = N_{\text{уст}} \cdot h_{\text{к}} \cdot K_{\mathcal{E}} = 21000 \text{ (кВт·ч)/год},$$

где $K_{\mathcal{E}}$ – коэффициент использования установленной электрической мощности (принимается для котельных с $Q_{\text{уст}} \leq 10$ МВт равным 0,5–0,6; $N_{\text{уст}}$ – установленная мощность токоприемников, кВт, определяется на основе выбора вспомогательного оборудования котельной и электродвигателей к нему, а при отсутствии данных – расчетным способом по удельному расходу электрической мощности $N_{\mathcal{E}}$, кВт/МВт, равной:

$$N_{\text{уст}} = N_{\mathcal{E}} \cdot Q_{\text{уст}} = 5 \text{ кВт},$$

здесь $N_{\mathcal{E}}$ – удельный расход электрической мощности на собственные нужды котельной, кВт/МВт.

Годовой расход воды котельной $G_{\text{год}}$, т/год, при закрытой системе теплоснабжения принимается на основании расчета тепловой схемы котельной при максимальном зимнем и летнем режиме работы по следующему выражению:

$$G_{\text{год}} = 24 \cdot n_0 \cdot G_{\text{зим}} + 24 \cdot (350 - n_0) \cdot G_{\text{лет}} = 1431 \text{ т/год.}$$

Удельный расход воды на 1 ГДж отпущенной теплоты определяется из выражения

$$\bar{G} = \frac{G_{\text{год}}}{Q_{\text{год}}} = 0,49 \text{ т/ГДж.}$$

Себестоимость отпускаемой теплоты является одним из обобщающих экономических показателей, характеризующих качественный уровень работы котельной, эффективность использования материальных ресурсов. Для расчета себестоимости отпускаемой теплоты определяются годовые эксплуатационные расходы.

Затраты на топливо, руб./год, расходуемое для покрытия тепловых нагрузок, зависят от количества израсходованного топлива, его цены, транспортных затрат (обычно входящих цену) и определяются из выражения

$$T = B_{\text{год}} \cdot (1 + \alpha) \cdot \Pi_{\text{T}} = 29069 \text{ руб./год,}$$

где α – коэффициент, учитывающий потери топлива при транспортировке его до потребителей (средние потери природного газа включены в оптовую цену 2000 г., $\Pi_{\text{T}} = 0,311 \text{ руб./м}^3$ газопровода).

Расходы на электроэнергию на собственные нужды (привод дутьевых вентиляторов, дымососов, насосов) определяются по двухставочному тарифу, так как $N_{\text{в}} > 750 \text{ кВт}$, по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{л}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{год}} \cdot \Pi_{\mathcal{E}}}{100} = 69697 \text{ руб./год,}$$

где $\Pi_{\mathcal{E}}$ – цена на 1 кВт·ч потребляемой энергии:

$$\Pi_{\mathcal{E}} = \frac{100 \cdot C_{\text{уст}}}{h_{\text{k}} \cdot K_{\text{э}}} + C_{\text{сч}} = 331,89,$$

здесь $C_{\text{уст}}$ – ставка годовой платы за заявленную максимальную мощность, (руб./кВт)/год, принимаемая по территориальным ставкам, действующим на 2010 год; $C_{\text{сч}}$ – ставка оплаты (по счетчику), коп./(кВт·ч), по преискуранту;

Годовые затраты, руб./год, на использованную воду определяются по годовому расходу воды на питание котлов, наполнение и подпитку теплопотребляющих систем, горячее водоснабжение по формуле

$$X_{\text{в}} = G_{\text{год}} \cdot \Pi_{\text{в}} = 16356 \text{ руб./год,}$$

где $\Pi_{\text{в}}$ – цена воды, руб./м³.

Амортизационные отчисления определяются по нормам амортизации от фактической стоимости объекта. На стадии проектирования для оценки объема капиталовложений применяется осреднение стоимости строительства на основе показателей удельных капиталовложений в сооружение котельной с целью определения на их основе годовых амортизационных отчислений.

Капитальные затраты на сооружение котельной (сметная стоимость строительства) с учетом снижения удельных капиталовложений составят:

$$K_{\text{К}} = (\bar{K}_1 \cdot Q_{\text{ном}}^1 + \bar{K}_2 \cdot Q_{\text{ном}}^2 \cdot (n - 1)) \cdot k_{\text{и}} = 750000 \text{ руб.}$$

где \bar{K}_1, \bar{K}_2 – удельные капиталовложения для ввода первого и последующих котлоагрегатов, руб/МВт; $Q_{\text{ном}}^1, Q_{\text{ном}}^2$ – номинальная мощность первого, второго и последующего котлоагрегатов, МВт (по данным завода-изготовителя); n – число котлоагрегатов в котельной.

При этом капитальные затраты, руб., на оборудование равны:

$$K_{об}=0,65 \cdot K_k = 487500 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты, руб., на строительные-монтажные работы равны:

$$K_{смр}=0,35 \cdot K_k = 262500 \text{ руб.}$$

Годовые амортизационные отчисления, руб./год, определяются как сумма отчислений от стоимости общестроительных работ и отчислений от стоимости оборудования с монтажом (ориентировочно принимаются 3 %):

Средняя норма амортизации общестроительных работ и зданий составит:

$$H_a = \frac{H_{смр} \cdot K_{смр}}{100} + \frac{H_{об} \cdot K_{об}}{100} = 44437,5 \text{ руб./год.}$$

Расходы на текущий ремонт включают в себя стоимость ремонта основных фондов, заработанную плату ремонтного персонала, стоимость расходных материалов и услуг сторонних организаций.

В проектных расчетах затраты на текущий ремонт котельных, руб./год, составят:

$$P_T = 0,2 \cdot H_a = 0,2 \cdot 44473,5 \text{ руб./год.}$$

Годовой фонд заработной платы, руб./год, определяется через ориентировочный штатный коэффициент $k_{шт}$, чел./МВт, и среднюю заработную плату одного рабочего:

$$З = Q_{уст} \cdot k_{шт} \cdot З_{ср} = 14112 \text{ руб./год,}$$

где $З_{ср}$ – средняя заработная плата одного рабочего в год, руб./год.

Прочие суммарные расходы, руб./год, в проектных расчетах принимаются в среднем для котельных в размере 30 % затрат на амортизацию, текущий ремонт и заработную плату:

$$Q_{проч} = 0,3 \cdot (H_a + P_T + З) = 5831 \text{ руб./год.}$$

Годовые эксплуатационные расходы (общая себестоимость) по котельной, руб./год, определяются по выражению

$$C = T + Э_{л} + X_{в} + H_a + P_T + З + Q_{проч} = 166203 \text{ руб./год.}$$

Себестоимость 1 ГДж отпускаемой теплоты, руб./ГДж, определяется по формуле

$$C_k = \frac{C}{Q_{год}} = 56.956,9 \text{ руб./ГДж} = 228 \text{ руб./Гкал.}$$

С целью сравнения проектируемого действующего варианта теплоснабжения производится сопоставление цены на отпускаемую теплоту (полной себестоимости единицы продукции котельной) с территориальным тарифом.

Приведенные затраты на единицу отпускаемой теплоты, руб./ГДж, определяются по формуле

$$\Pi = C_k + E_u \frac{K_k}{Q_{год}} = 350,8 \text{ руб./Гкал.}$$

Для оценки общей эффективности принятого проектного решения определяется рентабельность капиталовложений, которая сопоставляется с отраслевым нормативом Re . Общая эффективность может считаться приемлемой, если ее величина выше нормативной:

$$P_e = \frac{(C_{ТЭЦ} - \Pi) \cdot Q_{год}}{K_k} 100 = 51,43.$$

Годовой экономический эффект выявляется как разница между средним тарифом и себестоимостью продукции. В нашем случае стоимость годового отпуска теплоты, руб./год, от проектируемой котельной складывается из себестоимости всей отпускае-

мой теплоэнергии и доли прибыли, необходимой для развития предприятия. Валовая себестоимость определяется из выражения

$$S_k = \Pi \cdot Q_{\text{год}} = 1024687 \text{ руб.}$$

Стоимость теплоэнергии по тарифам Пензаэнерго составляет:

$$T_{\text{ТЭЦ}} = C_{\text{ТЭЦ}} \cdot Q_{\text{год}} = 1410463 \text{ руб.}$$

В таком случае годовая прибыль (эффект) в сумме

$$\Pi_p = T_{\text{ТЭЦ}} - S_k = 385776$$

покрывает капиталовложения в новую котельную за срок, равный

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_k}{\Pi_p} = 1,94 \text{ года,}$$

что значительно ниже среднеотраслевого срока эксплуатации котельных.

Результаты расчетов показали, что переход на автономный источник тепла (индивидуальную котельную) достаточно эффективен и с экономической точки зрения. Низкие сроки окупаемости позволяют отнести этот способ экономии энергии к малозатратным и быстрокупаемым.

Список литературы

1. Королева, Т.И. Экономическое обоснование оптимизации теплового режима здания: учебное пособие / Т.И. Королева. – М.: Изд-во «АСВ», 2001.
2. Королева, Т.И. Экономическая эффективность энергосберегающих мероприятий в системах отопления и вентиляции / Т.И. Королева. – Пенза: ПГАСА, 1997.
3. Королева, Т.И. Методика определения экономической эффективности капитальных вложений в энергосберегающие мероприятия в системах производственной вентиляции / Т.И. Королева. – М.: Фонды ВИНТИ, 1996.
4. Королева, Т.И. Экономическая эффективность энергосбережения капитальных вложений в системах отопления и вентиляции / Т.И. Королева. – Пенза: ПГАСА, 1997.
5. Королева, Т.И. Экономическая эффективность энергосбережения при эксплуатации вентиляционных систем: учебное пособие / Т.И. Королева, Л.Д. Богуславский. – Пенза, 1994.
6. Богуславский, Л.Д. Определение эффективности вариантов теплоснабжения и вентиляции зданий / Л.Д. Богуславский // Водоснабжение и санитарная техника. – 1993. – №1.
7. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: справочное пособие / под ред. Л.Д. Богуславского. – М.: Стройиздат, 1990.
8. Экономика энергосбережения в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / А.И. Ерёмкин [и др.]. – М.: АСВ, 2008.

References

1. Koroleva, T.I. Economic substantiation of optimization of the thermal mode of the building: Training manual / T.I. Koroleva. – M.: Publishing house of the deposit insurance AGENCY, 2001.
2. Koroleva, T.I. The economic efficiency of energy saving measures in the systems of heating and ventilation / T.I. Koroleva. – Penza: PGASA, 1997.
3. Koroleva, T.I. Technique of definition of efficiency of capital investments in energy-saving measures in the systems of industrial ventilation / T.I. Koroleva. – M.: Funds VINITI, 1996.
4. Koroleva, T.I. The economic efficiency of energy saving investments usage in systems of heating and ventilation / T.I. Koroleva/ – Penza: PGASA, 1997.
5. Koroleva, T.I. Economic efficiency of energy saving in the operation of ventilation systems: Training manual / T.I. Koroleva, L.D. Boguslavsky. – Penza, 1994.
6. Boguslavsky, L.D. Determination of the effectiveness of the options of heat supply and ventilation of buildings / L.D. Boguslavsky // Water supply and sanitary engineering. – 1993. – №1.
7. Energy saving in heat supply systems, ventilation and air conditioning: Reference manual / Under ed. L.D. Boguslav. – M.: Sroyizdat, 1990.
8. The economy of energy-savings program in systems of heating, ventilation and conditioning of air / A.I. Eremkin [etc.]. – M.: DIA, 2008.

АРХИТЕКТУРА

ARCHITECTURE

УДК 72.01(470+571)

*ОАО «Научно-исследовательский
и проектный институт по разработке
генеральных планов и проектов застройки
городов»*

Россия, 197342, г. Санкт-Петербург,
ул. Торжковская, д.5
тел.: 8 812 942-32-15
E-mail: niipgrad@niipgrad.spb.ru

Митягин Сергей Дмитриевич,
доктор архитектуры, профессор,
главный архитектор
НИИП градостроительства

*JSC «NIIP Gradostroitelstva» Research
and Design Institute of Urban Development*

Russia, 197342, Saint Petersburg,
5, Torgkovskay St.,
тел.: 8 812 942-32-15
E-mail: niipgrad@niipgrad.spb.ru

Mityagin Sergey Dmitrievich,
Doctor Architecture, Professor,
JSC «NIIP Gradostroitelstva» Research and
Design Institute of Urban Development

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ ГРАДОСТРОИТЕЛЕЙ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ

С.Д. Митягин

Раскрывается содержание профессиональной подготовки кадров высшей квалификации по направлению «Градостроительство», предлагается программа для слушателей курсов повышения квалификации руководителей – работников и специалистов органов государственного и муниципального управления, научных и проектных организаций.

Ключевые слова: образование, квалификация, градостроительство, учебная программа.

URGENT PROBLEMS OF HIGHLY-QUALIFIED TOWN-PLANNERS TRAINING

S.D. Mityagin

The matter of professional education of chartered personnel in the area «Town-planning» is discussed. The program for students of extension courses for managers – employees and specialists of agencies of state and municipal administration, research and design organizations is suggested.

Keywords: education, skills, urban planning, the training program.

Градостроительный кодекс Российской Федерации определяет градостроительную деятельность так: «деятельность по развитию территорий, в том числе городов и иных поселений, осуществляемая в виде территориального планирования, градостроительного зонирования, планировки территорий, архитектурно-строительного проектирования, строительства, капитального ремонта, реконструкции объектов капитального строительства» (ч.1, ст. 1).

Это определение закона относит к сфере градостроительства в полной мере всю хозяйственную и административно-распорядительную деятельность, связанную с планированием и реальным преобразованием окружающей среды, развитием материально-пространственных форм и изменением условий жизнедеятельности населения,

землеустройством и пространственной организацией производственных мощностей всех отраслей экономики, размещением населенных мест, охраной и восстановлением природных комплексов, расширением основных фондов различного назначения и поддержанием их в рабочем состоянии, в том числе путем реформирования.

Градостроительный кодекс уточняет, что при осуществлении градостроительной деятельности необходимо обеспечить безопасность и благоприятные условия жизнедеятельности человека, ограничить негативное влияние хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и обеспечить охрану и рациональное использование природных ресурсов в интересах настоящего и будущего поколений, объединяя эти требования понятием «устойчивое развитие территории» (ч.3, ст. 2).

Перечисленные виды градостроительной деятельности и требования по обеспечению условий устойчивого развития территорий в совокупности определяют профессиональную структуру кадров, занятых в сфере градостроительства, и соответственно направления их подготовки в специальных образовательных учреждениях. Эти направления исторически формируют группы специальностей высшей квалификации: «Градостроительство», «Архитектура» и «Строительство». Приведение в соответствие с требованиями градостроительного кодекса учебных стандартов и программ подготовки кадров в рамках данных направлений становится актуальной задачей профессиональной подготовки.

При этом во всех направлениях профессиональной подготовки должны быть усилены технологические вопросы экономии и эффективного использования ресурсов, как природных, включая территории, так и антропогенных, в том числе трудовых и экономических, а также материальных и финансовых. По-видимому, наибольшие трансформации необходимо предвидеть в направлении «Градостроительство», поскольку именно здесь требуется обеспечить подготовку квалифицированных специалистов в области территориального планирования, градостроительного зонирования и планировки и межевания территорий, в целом новых видов деятельности, от которых напрямую будет зависеть общая эффективность пространственной организации Российской Федерации, субъектов Российской Федерации, муниципальных образований в виде районов, поселений и городских округов.

Содержание подготовки градостроителей как нового самостоятельного направления профессиональной деятельности определяется методологией пространственного планирования, которая должна обеспечить последовательное развитие рациональных, ресурсо- и энергосберегающих форм природопользования, создания комфортных условий жизнедеятельности как внутри, так и вне населенных мест, их оптимальное распределение по территории страны.

Методология пространственного планирования Российской Федерации представляет собой совокупность методических принципов и подходов к решению задач функционально-планировочной организации территории страны и акватории мирового океана, находящихся под государственной юрисдикцией России и обеспечивающих создание и поддержание оптимальной комбинации условий устойчивого развития рациональной структуры отраслей национального хозяйства и социальной сферы на основе комплексной оценки состояния совокупного природно-антропологического потенциала экономгеографических зон страны в разрезе водосборных бассейнов, природных общностей и административных образований.

Сочетание компенсаторных возможностей компонентов природной среды, объемов возобновляемых и извлекаемых и невозобновляемых ресурсов, созданных и накопленных основных фондов производственного, энергетического, транспортного и гражданского назначения, степени их износа и возможного технологического использования, экономических, материальных и финансовых ресурсов, уровня развитости социально-производственной сферы, образования и здравоохранения, трудовых навыков и численности населения, особенностей его распределения в системе расселения, устоявшихся тенденций динамических характеристик в демографической структуре населения, степени надежности и прочности планировочного каркаса территории, цельности и взаимосвязности природозащитного экологического каркаса ландшафт-

ной организации территории для любого административного образования регионального или районного уровня, уровня отдельных поселений и городских округов – определяет потенциал допустимого на современном технологическом уровне природопользования и устойчивого социально-экономического развития этих административных единиц, отраслевую структуру их экономики, пространственную организацию землеустройства, задачи градостроительного развития системы расселения, реконструкции и строительства основных фондов разного назначения, преобразования функциональной структуры территориальной организации, развития инфраструктуры коммуникаций, информатики и связи.

Иными способами обеспечить устойчивое экологически сбалансированное социально-экономическое развитие страны невозможно. Только совместное использование приемов анализа и оценки природной и антропогенной составляющих пространственной организации в их взаимодействии на различных таксономических уровнях позволяет надеяться на успешное решение стратегических задач в области обеспечения условий устойчивого развития. Поэтому разработка документов территориального планирования должна базироваться на методологических принципах комплексности, системности, эффективности и прагматичности. Эти принципы проявляются как в исследовательском, так и в оценочном, а также на проектном этапах разработки документов независимо от величины охватываемой проектом территории.

Перечисленные методические подходы позволяют всесторонне изучить природно-антропогенный комплекс территории административного образования, обосновать приоритетные направления и допустимые объемы экономического развития, необходимой трансформации землепользования, инфраструктурного строительства, мероприятий по защите и восстановлению окружающей среды, предотвращению рисков возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, развития социальной сферы. В целом их использование в методическом плане может создать необходимую доказательную базу для административного принятия решений о перспективной пространственной организации территории административного образования, выделении первоочередных задач и временных этапов планируемых преобразований в областях градостроительного и социально-экономического развития. Они должны применяться при разработке стратегических схем территориального планирования муниципального образования, каждого субъекта Российской Федерации и страны в целом в целях обеспечения решения главной задачи градостроительной деятельности – создания условий для устойчивого и безопасного, сбалансированного социально-экономического развития территории Российской Федерации.

Очевидно, что решение такой многоаспектной задачи требует специальной подготовки кадров как для структур государственного и муниципального управления, так и для научно-исследовательских и проектных организаций, работающих в области пространственного планирования.

Учитывая, что в сфере градостроительной деятельности заняты далеко не только специалисты, получившие базовое архитектурное образование, а в основном профессионалы иных самых разнообразных областей специальных знаний: экономисты, юристы, землеустроители, кадастровые инженеры, специалисты государственного и муниципального управления, экологи, геологи, гидрологи, гидротехники, специалисты по инженерной подготовке и инженерному оборудованию территорий, транспортники, социологи, демографы, информационщики, маркетологи и специалисты в области общественных связей, оценщики и девелоперы, строители, санитарные врачи и специалисты в областях организации здравоохранения, дошкольного, начального, среднего школьного и специального образования, технологи различных производственных процессов, энергетики, инженеры зеленого строительства, городского хозяйства и управления отходами, а также представители других специальностей, прямо или косвенно связанных по роду профессии с планированием или реализацией мероприятий по преобразованию окружающей среды, формированием, реконструкцией и восстановлением основных фондов, изменением организации земельно-имущественных отношений, разработкой стратегий и программ социально-экономического развития

административных образований, – все они должны получить хотя бы начальное представление о содержании, целях и задачах, механизмах комплексной градостроительной деятельности. При этом объем специальных знаний в области градостроительства для разных категорий ответственных лиц, принимающих те или иные управленческие решения в соответствии с их компетенцией или подготавливающих такие решения в инженерно-планировочной сфере, может возрастать по мере требуемой детализации этих решений. С этой точки зрения подготовку и переподготовку специалистов высшей квалификации, участвующих в градостроительной деятельности, можно вести для трех групп слушателей: первые должностные лица государственных и муниципальных органов управления, научно-исследовательских и проектных организаций, специалисты среднего звена этих органов и организаций, и специалисты, непосредственно связанные с подготовкой решений и проектными разработками.

Примерная учебная программа подготовки или переподготовки, а также в виде дополнительного образования перечисленных специалистов разных профессий, участвующих в градостроительной деятельности, в том числе слушателей магистратуры, может состоять из трех блоков: нормативно-правовое обеспечение градостроительной деятельности, содержание и порядок подготовки документов, регулирующих градостроительную деятельность, экономика и управление градостроительной деятельностью. В рамках этих блоков могут быть с разной степенью детальности раскрыты вышеперечисленные вопросы обеспечения комплексного сбалансированного и устойчивого развития муниципальных образований, регионов и страны в целом.

Широкое внедрение этой программы в систему подготовки и переподготовки кадров – насущная задача современного этапа развития градостроительной деятельности в Российской Федерации.

Список литературы

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации. Федеральный закон №190-ФЗ.
2. Перечень поручений по итогам заседания Президиума Государственного совета 7 июня 2010 года.
3. Перечень поручений по итогам заседания Президиума Государственного совета 21 июня 2011 года.

References

1. Town-planning Code of the Russian Federation. Federal Law № 190-FZ.
2. List of instructions following a meeting of the Presidium of State Council. June 7, 2010.
3. List of instructions following a meeting of the Presidium of State Council. June 21, 2011.

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
Нефёдов Валерий Анатольевич,
доктор архитектуры, профессор кафедры
урбанистики и дизайна городской среды
Тел.: +7 921 935 89 55
E-mail: valerynefedov@yahoo.com

St. Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering
Russia, 190005, St. Petersburg,
4, 2nd Krasnoarmeiskay St.
tel.: (812) 575-05-34; fax: (812) 316-58-72
Nefedov Valeriy Anatolievich,
Doctor Architecture, Professor of Urbanism
and Urban Design Department
Tel.: +7 921 935 89 55
E-mail: valerynefedov@yahoo.com

КАЧЕСТВО ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ КАК ИНТЕГРИРУЮЩИЙ ФАКТОР АРХИТЕКТУРЫ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА И ДИЗАЙНА

В.А. Нефёдов

На основе рассмотрения вопросов современной градостроительной практики обозначаются характерные проявления проблемы недостаточной экологической эффективности реализованных проектов. Излагается метод структурирующей ре-природизации преобразуемых территорий и приводятся факторы, которые могут быть учтены при осуществлении экологической реконструкции города.

Ключевые слова: преобразование города, структура городских пространств, городская среда, экологическая реконструкция, природный каркас, ре-природизация, устойчивое развитие территорий.

QUALITY OF URBAN ENVIRONMENT AS AN INTEGRATIVE FACTOR OF ARCHITECTURE, URBAN PLANNING AND DESIGN

V.A. Nefedov

Basing on the analysis of contemporary urban planning practice, distinctive problems manifestations of realized projects insufficient ecological effectiveness are marked. The method of transformed territories structuring by nature regeneration is offered and factors useful for city ecological reconstruction are named.

Keywords: city transformation, structure of urban spaces, urban environment, ecological reconstruction, natural framework, nature regeneration, territories sustainable development.

Обозначение в Национальной градостроительной доктрине Российской Федерации и Стратегии устойчивого развития основных приоритетов, связанных с достижением взаимосвязанного социально-экономического и пространственного развития городов России, с максимальным сохранением и рациональным использованием природных ресурсов, предполагает объединение усилий специалистов, вовлеченных в архитектурную, градостроительную и дизайнерскую деятельность, в создании гармоничной и комфортной среды для человека. Качество жизни напрямую связывается с результатами деятельности этих специалистов, призванных формировать среду, исходя из соображений совершенствования условий жизнедеятельности не только для современного, но следующих поколений населения страны.

Динамические изменения городской среды, обусловленные реализацией многих проектов жилых и общественных зданий, освоением обширных пространств на периферии городов России, масштабным преобразованием бывших промышленных, складских и портовых территорий, содержат немалые возможности для формирования на современном этапе развития архитектуры и градостроительства пространств с повышенным уровнем комфортности и оптимальной функциональной организацией.

Для большинства отечественных городов смена вектора пространственного развития в направлении освоения резервов в структуре ранее застроенных территорий и превращение в новые зоны общественно-деловой активности территорий бывшего промышленного пояса обозначила, наряду с безусловными позитивными переменами в виде получения немалых экономических выгод от более интенсивного использования территорий, и определенные экологические проблемы. Их основная причина заключается в неуклонном сокращении площадей природного каркаса и, как следствие, в заметно прогрессирующей деградации фрагментов сохранившейся в городе природы и в осложнении экологической ситуации под воздействием нарастающей автомобилизации.

Проявления проблемы

Осознание возросших проблем во многих городских пространствах стало приходиться по мере очевидного отторжения человека с тех участков, которые ранее предназначались для его пребывания, включая рекреацию во дворах жилой застройки 70–90-х годов прошлого века и передвижение по городским улицам и площадям, где для пешеходов заметно сократилось транзитное пространство как результат расширения площадей, занятых стоящими машинами. Постепенно проблемы пребывания человека в экологически несбалансированной среде стали распространяться и на преобразованные бывшие промышленные территории, в структуре которых появились новые общественно-деловые и торговые зоны. Достаточно показательными в этом отношении стали участки преобразованных Выборгской и Петроградской набережных в Санкт-Петербурге, где появление в структуре бывших промышленных территорий новых центров деловой активности не сопровождалось увеличением восстановленных компонентов природы, фактически, лишив преобразованные территории возможности экологически сбалансированного развития. Если учесть, что реконструкция этих набережных осуществлялась в условиях сноса ветхих строений с возможностью адекватного замещения, наряду с новой застройкой, компонентами природного каркаса, то становится понятным, что шанс для поэтапной стабилизации ландшафта набережных был упущен.

На примере набережной Обводного канала в Санкт-Петербурге, в частности, на участке, где вместо предприятия по изготовлению подъемно-транспортного оборудования разместился новый торговый центр «Лента», можно заметить, что простым «замещением» промышленной функции новой, торговой функцией задачи позитивного преобразования городской среды в пользу человека решить достаточно трудно.

Вопрос о качестве городской среды, независимо от того, создается ли она в условиях свободных территорий или формируется в процессе преобразования ранее освоенного пространства со сменой функции, становится одним из основных, так как именно по состоянию среды, ее оптимальной структуре и балансу природных и искусственных компонентов можно судить о степени гуманности и экологической устойчивости среды.

Осуществление реконструкции основных транспортных магистралей города, что, безусловно, необходимо в условиях возросшей интенсивности транспортных потоков, становится также определенным ресурсом в изменении качеств городской среды, если выбранный метод соответствует вектору устойчивого развития территории. С этой точки зрения, полезный и своевременный для города проект создания на Лиговском проспекте в Санкт-Петербурге «выделенных» полос для движения общественного транспорта мог бы иметь дополнительный экологический смысл, если бы при формировании разделительных полос в поперечном профиле проспекта могли бы появиться дополнительные ряды высокой растительности в качестве акустических экранов и средств нормализации качеств воздушного бассейна.

Приведенные примеры, перечень которых можно продолжить для многих городов России, свидетельствуют о превращении в реальную проблему отношения к преобразованиям городской среды без включения в изменяемые городские пространства восстанавливаемых компонентов природы для достижения качеств среды, отвечающих интересам человека.

Перспективный метод преобразования

Масштабы градостроительной деятельности в условиях современного развития городов России делают необходимым теоретическое обоснование альтернативного подхода к преобразованию городских пространств с позиций достижения тех качеств,

которые могут быть обеспечены только при включении компонентов природного каркаса для целей оптимальной структурной реорганизации среды. Вектор подобного альтернативного подхода может быть реализован на основе внедрения *метода структурирующей ре-природизации городских территорий*, суть которого заключается в последовательном увеличении компонентов природного каркаса во всех преобразуемых пространствах, исходя из обновления выполняемых ими функций и формирования качественно новой структуры с приоритетами пребывания человека.

В числе принципов, составляющих основу такого метода, можно обозначить такие, как:

– *принцип структурной оптимизации* – приведение в соответствие структуры городских пространств и изменившегося характера их использования;

– *принцип биоопозитивности* – последовательное увеличение компонентов живой природы в структуре городских открытых пространств;

– *принцип образной идентичности* – создание городской среды, обладающей индивидуальностью и образным разнообразием;

– *принцип социальной направленности* – формирование городской среды, обеспечивающей реальные нужды населения и отвечающей интересам различных возрастных и социальных групп.

Для определения возможной области применения подобного метода целесообразно рассмотреть ряд факторов, оказывающих влияние на выбор подходов к трактовке восстанавливаемых компонентов природного каркаса.

Фактор коммуникаций. Для городов, протянувшихся на десятки километров, рассмотрение коммуникационных пространств в качестве ресурсной области для обновленной трактовки с включением компонентов природы означает не только создание эффективно разграниченных с использованием дополнительных рядов растительности транспортных, велосипедных и пешеходных полос движения, но и максимальное увеличение поверхностей из природных материалов. В первую очередь это касается расширенного использования покрытия из естественного газона в качестве заполнения рельсового полотна линий трамвая на периферии города.

Фактор ассортимента растительности. Обеспечение востребованных качеств городских пространств требует пересмотра средств озеленения, в первую очередь, ассортимента растительности. Отсутствие эффективного разграничения между пешеходными и транспортными пространствами в современном городе связано с ограниченным использованием для их разделения многоуровневых экранов из растительности, начиная с разнообразной кустарниковой растительности. С позиций следования концепции устойчивого развития и, исходя из соображений ресурсосбережения, становится все более очевидным, что переход к созданию композиций растительности из наименее затратных многолетних культур (включая злаки) наиболее перспективен для формирования в городе устойчивых сообществ растений, обладающих механизмами самоподдержания и саморегулирования.

К числу направлений расширения природного каркаса, способных повлиять на изменение экологической ситуации в наиболее проблемных участках города, относится вариант, предложенный французским ландшафтным архитектором Жилем Клеманом в виде «третьей природы» [1]. Перенесение акцентов в организации ландшафта города на максимальное использование способностей природы по самосохранению и саморегулированию позволяет значительно расширить диапазон ландшафтных решений в городской среде, исходя из ресурсов, заложенных в разнообразных видах растительности. Применение широкого ассортимента растительности в зависимости от функциональных особенностей различных зон города способно обеспечить необходимые качественные изменения.

Следование логике природных биотопов на основе создания естественных сообществ растений без необходимости последующего вмешательства человека и не требующих дополнительных затрат энергии для своего поддержания становится наиболее доступным подходом к экологической реконструкции, например, бывших промышленных территорий.

Фактор дождевого водосбора. Превращение последовательно преобразуемых фрагментов поверхности земли (исключая пути следования транспорта) в территории регулируемого сбора дождевых осадков, используемых для расширения озелененных поверхностей на уровне земли, становится возможным за счет отказа от сброса всех

собираемых осадков в ливневую канализацию. Поверхности земли, не подверженные воздействию движущегося или стоящего транспорта, могут рассматриваться как потенциальные участки дождевого водосбора с перспективами увеличения фрагментов озеленения. Преобразование поверхности в данном случае предполагает пересмотр повсеместного заполнения городских открытых коммуникационных пространств сплошным асфальтовым покрытием или бетонным мощением с включением пониженных модулей грунта (дренирующие ниши), покрытых растительностью.

Фактор городской агрокультуры. К числу ресурсных направлений преобразования городских открытых пространств относится альтернативное превращение части из них в фрагменты городской агрокультуры. Для многих открытых пространств, не обладающих эффективным использованием, но расположенных вблизи удобных коммуникаций в системе жилых территорий, вариант превращения их в участки организованного землепользования может способствовать вовлечению населения в поддержание городских территорий и увеличению озелененных площадей (сады и огороды).

Проявление новых подходов

Среди заметных событий в градостроительной практике последних лет в России, позволяющих судить о радикальном обновлении подходов к преобразованию городских пространств с позиций качественного изменения среды в интересах человека, следует, безусловно, упомянуть разработку Стратегического мастер-плана г.Перми большим международным авторским коллективом (командой мастер-плана) в составе: KСАР Architects&Planners (Нидерланды), HOSPER (Нидерланды), Systematica (Италия), Rõugu, (Финляндия), Tavernor Consultancy (Великобритания), Fakton (Нидерланды) во взаимодействии с МАУ «Бюро городских проектов» г.Перми [2].

Для города, протянувшегося почти на 65 км вдоль Камы, с большим перепадом рельефа, мощным промышленным потенциалом и уникальным культурно-историческим наследием подобная попытка означала осознание серьезных городских проблем, связанных с недостаточной эффективностью использования территории, очевидной сложностью ее инфраструктурного обеспечения, поддержания экологического баланса и создания условий для реализации множества различных укладов жизни.

Соображения изменения качеств среды в сторону их устойчивого совершенствования послужили основанием для разработки в рамках Мастер-плана целого ряда стратегий, включая стратегию красных и зеленых зон, стратегию ландшафта и окружающей среды, стратегию приоритетов развития, стратегию транспорта, стратегию общественных пространств, стратегию смешанного использования, стратегию кварталов, стратегию наследия и стратегию периферийных территорий [2].

Наиболее важным с позиции радикального изменения качеств среды можно отметить включение авторами Мастер-плана в число приоритетов развития ландшафта города таких положений, как «...восстановление изначальных качеств ландшафта таким образом, чтобы это принесло максимум выгоды и пользы жителям города...» [2, с.59].

В стратегию взаимодействия красных и зеленых зон, исходя из топографии и природных особенностей местности, были включены важнейшие положения по консолидации существующей застройки (красные зоны) как средство достижения компактности городской территории, в то время как очертания зеленых зон должны обеспечить максимальное восстановление окружающей среды. Не менее значимыми для повышения качеств городской среды являются предложения Мастер-плана по формированию новой парковочной политики, направленной на преодоление критической ситуации с произвольным размещением индивидуальных автомобилей на городских территориях с повышением роли общественных пространств, возвращенных человеку.

Апробация метода структурирующей ре-природизации

В рамках проектного семинара, проведенного автором данной статьи на Факультете непрерывного профессионального образования Пермской государственной сельскохозяйственной академии в начале ноября 2011 г., вопросы совершенствования качеств среды решались с участием специалистов в области ландшафтной организации территории, представителей профильных комитетов городской администрации г.Перми, преподавателей и студентов профильных вузов.

Взяв для проектной разработки наиболее характерные участки городской среды с уже существующей застройкой (зона набережной у жилой группы в районе «Парко-

вый»), коллективное пространство в квартале малоэтажной застройки «Гарцы»), застраиваемый участок на ул. Докучаева, 40 и фрагмент лесопарка (Черняевский лес) на границе существующей застройки, участники проектного семинара разрабатывали предложения по преобразованию структуры открытых пространств с учетом их градостроительных и природных особенностей.

Для каждого из проектируемых участков были выбраны адекватные приемы планировочной и пространственной организации на основе выявления основных коммуникационных связей, дифференциации функций отдельных зон, и, главное, пересмотра роли восстанавливаемых компонентов природы с обретением ими структурирующего воздействия на преобразуемую территорию. В числе наиболее проблемных площадок оказалась площадка в районе «Парковый» на берегу реки Мулянки. Состояние среды, лишенной качеств эстетической привлекательности и функциональной рациональности, с очевидными признаками деградации природы под воздействием стихийного паркинга на дворовых территориях, необустроенными пешеходными коммуникациями и ветхим состоянием детских игровых пространств, обусловило выбор адекватных приемов ландшафтной организации.

Предложения касались, в том числе, радикальных изменений в трактовке функции и композиции пространств с преодолением существующих в них проблемных ситуаций, включая заметное увеличение растительности с эффективным разграничением транспортных и пешеходных пространств, обустройство полноценных игровых пространств для различных возрастных групп детей, повышение качеств транзитных пространств с организацией отсутствующих в настоящее время мест для рекреации населения вблизи жилища. Использование приемов визуального кодирования среды с использованием характерных видов и форм растительности сочеталось с превращением каждого восстанавливаемого природного компонента природы в фактор повышения комфортности среды и обеспечения ее устойчивого использования в течение всего года.

Выводы

Преодоление существующей разобщенности в деятельности градостроителей, архитекторов, дизайнеров и строителей, призванных обеспечить востребованные качества формируемой городской среды, трудно представить без совершенствования подходов к нормативному регулированию вопросов ландшафтного обустройства территории, которые должны решаться застройщиками в обязательном порядке с включением в условия приемки объектов. Применительно к реконструируемым архитектурным объектам в структуре промышленных территорий, где вопросы экологии стоят особенно остро, необходим механизм обременения застройщика обязательным выполнением работ по дополнительному ландшафтному обустройству территории с восстановлением природных компонентов среды в виде высокой растительности и организацией озелененных территорий в качестве мест рекреации для персонала и посетителей. Осуществление экологической реконструкции на всех преобразуемых городских территориях может стать одной из основных предпосылок обеспечения их устойчивого развития.

Список литературы

1. Преобразование города. Стратегический мастер-план Перми / ред. КСАР Architects&Planners. – Пермь: ООО Студия «Зёбра», 2010. – 531 с.
2. Clément, G. Manifeste du Tiers paysage / G. Clément. – Paris: Édition Sujet-Objet, 2007. – P.28.

References

1. The transformation of the city. The strategic master plan of Perm / Ed. KСАР Architects & Planners. – Perm: Studio Ltd. «Zebra», 2010. – 531p.
2. Clément, G. Manifeste du Tiers paysage / G. Clément. – Paris: Édition Sujet-Objet, 2007. – P.28.

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

Овчинникова Надежда Павловна,
доктор архитектуры, профессор кафедры
реставрации и реконструкции
архитектурного наследия
Тел.: 8(812) 316-15-68, +7 981 803-05-52.

Saint Petersburg State University of
Architecture and Civil Engineering
Russia, 190005, St. Petersburg,
4, 2nd Krasnoarmeiskay St.
tel.: (812) 575-05-34; fax: (812) 316-58-72

Ovchinnikova Nadegda Pavlovna,
Doctor Architecture, Professor of the
department instauration and reconstruction
of architectural heritage
Tel.: 8(812) 316-15-68, +7 981 803-05-52.

О СПЕЦИФИКЕ АРХИТЕКТУРОВЕДЕНИЯ

Н.П. Овчинникова

Сформулирована специфика архитектуроведения, кратко рассмотрен ряд её элементов или признаков.

Ключевые слова: состав знания, методы, функционирование архитектуроведения, уровень развития, самопознание архитектурной науки.

ABOUT PECULIARITY OF ARCHITECTURAL KNOWLEDGE

N.P. Ovchinnikova

The authors has formulated the peculiarity of architectural knowledge; a number of its elements and attributes are examined.

Keywords: structure of knowledge, functioning of architectural knowledge, level of development, self-knowledge of architectural science.

Отечественному архитектуроведению присуща своя специфика, которая оформилась ещё в конце советского периода нашей истории, когда оно в целом достигло наивысшего уровня развития. Специфика в целом развивается во времени, но её историческое движение неравномерно. Однако даже в периоды видимого замедления её развития после бурного роста (например, в конце 1990-х гг. после насыщенных «саморефлексией» 1980-х гг.) багаж прежних приобретений не терялся.

Кроме того, каждый элемент (или признак) этой специфики имеет также и собственное развитие. Например, предмет исследования – это, хотя и развивающийся признак, но присущ архитектуроведению с начала его истории. А самопознание – это его новейший признак и он значительно менее развит.

Далее кратко рассмотрим основные элементы (признаки) специфики отечественного архитектуроведения.

Специфика предмета исследования. Как известно, предмет науки оказывает большое влияние на научное знание. Как отражение совокупного объекта исследования предмет архитектуроведения – обширный, многообразный и «неточный», так как наряду с определённой (например, размеры, прочность, долговечность и другие физико-механические свойства сооружений и комплексов) имеет место и неопределённость или многозначность (например, свойства художественной формы, психологическое воздействие этих же сооружений и комплексов).

Совокупный объект исследования архитектуроведения – это вся архитектура и ее связи с внешним миром. Часто понятием «неточность» подменяют более уместное во многих случаях понятие «вариабельность», или «диапазон архитектурных решений» и т.д. Весьма обширная предметная область архитектуроведения развивается вместе со своим совокупным объектом исследования.

Специфика содержания. Заключается прежде всего в его сложности и насыщенности, так как предметная область архитектурной науки очень широка (потому что велик объективный мир архитектуры) и многообразна, а также в огромной величине

фактуального массива архитектурно-научного знания, которая обусловлена весьма солидным возрастом зодчества, как общественного явления и его теснейшей связью с жизнью людей.

Специфика формы. Отражена в структуре архитектуроведения – общедисциплинарной и общенаучной, в способах существования архитектуроведческого знания и в «признаках формы» научных работ.

Специфика элементов архитектуроведения. Может пониматься как специфика его предметной области, фактографии и фактологии, видов знания, языка, методов и моделей, входящих в неё дисциплин (или разделов дисциплин), исследований, понятий, моделей, научных произведений и т.д. Она отражает логику предмета изучения архитектуроведения и уровень развития самой архитектурной науки на данный момент времени.

Специфика фактографии и фактологии. Связана, во-первых, со спецификой объектов и предметов исследования, во-вторых, с их большим объёмом для многих областей архитектуроведения и, в-третьих, с их включённостью в научные произведения. Так, в большинстве крупных теоретических работ советского времени использована основная фактография и фактология всех периодов развития зодчества народов мира, в том или ином аспекте (или аспектах), с разной степенью детализации рассмотрена вся история архитектуры.

Специфика состава знания. В архитектурной науке заключается в присутствии всех известных [2, с. 13] в современном науковедении его форм и обуславливает его комплексность и синтетичность.

Специфика комплексности. Архитектуроведение отличается от других наук своей особой комплексностью (а у многих других наук это свойство может появиться лишь в будущем). Она заключается в том, что свойства всех входящих в него наук, как бы складываясь, образуют особое качество, которое и отличает архитектурную науку.

Поскольку технические разделы являются частью технических наук, то им присущи характерные признаки последних. Многие из них – это неоклассические или комплексные, научно-технические дисциплины, включающие проектирование и другие составляющие инженерной деятельности. Строительно-технические (инженерно-строительные) дисциплины и их разделы представляют собой знание об инженерно-строительной деятельности (подготовке к строительству, включающей его обоснование и проектирование, самом строительстве, эксплуатации, ремонте и переустройстве) и об инженерно-строительных объектах и системах в проекте и реальности). Оно опредмечивается в инженерно-строительных объектах в процессе деятельности. Одной из сторон инженерно-технического знания является его рецептурный характер, что роднит его с определённой частью архитектурного знания. Статус технического знания в архитектуроведении определяется лишь при соотношении этого знания с другими видами знания.

Одним из интересных вопросов теории и истории архитектурной науки мог бы стать вопрос о логике и времени включения разделов технических дисциплин в архитектурную науку. Другой не менее интересный вопрос: какие разделы инженерно-строительных технических наук или содержащиеся в них знания входят в архитектурную науку – эмпирические, фундаментальные, теоретические, прикладные? Схема ответа такова. В архитектуроведении присутствуют все эти виды знания (а иногда это даже целые разделы), но в разном объёме: меньше теоретического и больше прикладного, довольно много эмпирического и обязательно основное из фундаментального. Это зависит от степени развития каждой технической науки.

У технических наук, разделы которых входят в архитектуроведение, и у так называемых чистых архитектурных дисциплин (теория архитектурной композиции, теория архитектурных форм, архитектурная типология и др.) есть ряд общих черт. Это двойственность технического и архитектурного знаний: во-первых, оно отражает свой объект, производно от него и, во-вторых, строит, формирует свой объект. Теория в тех и других создаёт схемы, которые конкретизируются, воплощаясь в архитектурной и инженерной деятельности по проектированию, строительству, эксплуатации и переустройству объектов архитектуры. Эмпирический базис теорий в тех и других науках

включает практико-методические, технологические и конструктивно-технические или конструктивно-архитектурные знания. Многие архитектурные дисциплины (как и технические) крепко увязаны с архитектурной (инженерной) деятельностью. В ряде дисциплин архитектуроведения (например, в теории композиции), как и в научно-технических неоклассических дисциплинах, не столь ярко видна интересубъективность в числе критериев научности. Критерием истинности в тех и других является архитектурная и инженерная деятельность, которая для данных наук выполняет роль эксперимента. А центральным критерием научности технических и ряда архитектурных (например, реконструкции, типологии и др.) можно считать конструктивность или их конструктивную функцию. Предвидение здесь более всего бытует в форме опережающего отражения будущего объекта и его связей.

В архитектуроведение входят также разделы гуманитарных и общественных наук. Общественные дисциплины изучают общезначимые, объективированные, надындивидуальные и безличные аспекты реальности [2, с. 179]. Современное разделение наук на гуманитарные и общественные производят, в зависимости от того аспекта, в котором рассматривается человек в них, а знание соответственно квалифицируется как социальное или гуманитарное. Особенности данной части комплексной архитектурной науки также обусловлены характером этих наук и их взаимодействием с чисто архитектурным знанием.

Итак, специфика комплексности архитектуроведения складывается из суммы специфик указанных наук, разделы которых входят в архитектуроведение, и специфики собственно архитектурных разделов и наук – «сердцевины» архитектуроведения.

Специфика архитектурных наук, помимо специфики предмета исследования (а она различна, например, у типологии жилых зданий и истории русского градостроительства, у реконструкции общественных зданий и теории архитектурных форм и т.д.), включает специфику методов, критериев научности (не у всех из них есть критерий «конструктивность») и т.д. Специфичность архитектуроведения – в его многогранности как науки, в том, что ему присуще такое количество характеристик и многообразных черт, которых нет ни у одной науки. По совокупности знаний архитектурная наука более всего похожа на неклассические технические науки, в которых синтезируются математические, естественно-научные и гуманитарные знания.

Специфика в синтетичности знания. Связана с комплексностью архитектуроведения. Имеющие место опасение насчёт преобладания внешних знаний, переходящее в отрицание архитектурной науки как существующего феномена [3], стали возможны только потому, что их авторам (или «носителям») будто неизвестно о мощном системном интегративном движении в современной науке, которое объективно отразилось и в архитектуроведении. Но в 1950-е гг. происходило всё более полное проявление (или усиление) синтеза, когда знание, взятое из других наук, не только пополняет содержательную сторону архитектурной науки, но и организует архитектуроведение в более стройную систему. Архитектурной науке всегда в большей или меньшей степени была присуща синтетичность, но в 1980–1990-е гг. она явно приобрела новое качество: интегрируемых в неё частей стало значительно больше, а их связь становилась всё более тесной и, действительно, они настолько взаимопроникают, что уже синтезируется новая архитектурная наука, в которой все они «сплавлены» как бы на «молекулярном» уровне. А искусственное удаление (ради «чистоты крови» архитектурного знания) какой-либо из них резко уменьшает полноту архитектуроведческого знания и в конце концов негативно отражается на практике.

Специфика методов. Более касается специфики их применения и менее существа самих методов, используемых в архитектуроведении. В числе преобладающих можно назвать описание, моделирование и классификации, логический и сравнительный анализ. Кроме того, различные отрасли архитектуроведения имеют в своём арсенале большее или меньшее количество методов, выбор и применение которых зависит от предметной области.

Наиболее ёмка в этом смысле градостроительная наука, поскольку она включает научное знание широчайшего диапазона. Используемые в ней методы и подходы

имеют разное происхождение, но уже интериоризованы ею. Как показывает её опыт, весьма продуктивно освоение методов других – смежных наук, наряду с использованием традиционных – архитектуроведческих.

Перечень их следующий (по состоянию к 2010 г.):

- искусствоведческий подход к исследованию градостроительных систем – традиционный и наиболее разработанный: изучение композиций планов, панорам и перспектив, цвета и пластики других градостроительных элементов, соотношения искусственных и природных объектов;
- исторический анализ формирования градостроительных объектов, связей и систем, а также профессиональных представлений, отражённых в профессиональной деятельности;
- соотношение методов истории и футурологии для долгосрочного прогнозирования;
- метод обобщённого описания объекта (обобщённое модельное представление объекта с использованием модели функционального зонирования и др.) – структурно-функциональный анализ градостроительной системы;
- моделирование с применением различного рода моделей;
- методы реконструкции исторически сложившейся среды городских центров: анализ существующей застройки (и классификация), систематическое обновление среды и благоустройства, методы локальной, скрытой, комплексной реконструкций, эволюционный подход к реконструкции города;
- методы социально-экономического анализа, разработанные в экономике и экономической географии: метод комплексной оценки территории по показателям эффективности концентрации производства – при размещении производства; балансовые методы – при функциональном зонировании территории городов и региона, при расчёте городского населения; географические модели, отражающие закономерности распределения населения, населённых мест, транспортных потоков в зоне влияния города-центра – для градостроительных прогнозов. Из географии взяты также графические методы описания и анализ процессов расселения, например, графоаналитические модели – для характеристики динамики хозяйственного освоения территории;
- анализ художественного творчества в градостроительстве, анализ композиции градостроительных объектов и анализ эстетического восприятия градостроительных объектов (среды), которые связаны с искусством, социальной психологией, социологией искусства, педагогикой и семиотикой;
- математические методы: количественные методы (модели), основанные на заданных количественных характеристиках городских систем, диалоге проектировщика и ЭВМ и др.; балансовый анализ: при оценке территориальных ресурсов, при разработке социально-функциональной программы проектирования, при выборе проектного решения, при разработке нормативов, исследовании функционирования и развития градостроительных систем; методы социальной статистики и конкретной социологии – при анализе функционирования градостроительных систем; методы теории информации для количественной оценки композиции в градостроительном проектировании.

Специфика критериев научности. Заключается в том, что при обязательном их минимальном наборе (истинность, системность, интересубъективность, конструктивность, рациональность, методичность) все они неодинаково развиты и в некоторых чертах имеют различие с критериями научности для других, например, точных наук.

Специфика в отношении к искусству. Связана с проблемой соотношения искусства и науки в архитектуре. Поскольку художественно-эстетический компонент архитектуры обязательно присутствует во всей цепочке архитектурного процесса: от задания на проектирование до функционирования сооружения (группы сооружения) и далее его (их) переустройства, то он должен отражаться и в архитектуроведении.

Отношение к искусству в архитектуре менялось исторически: в 1920-е гг. это выразилось в поиске новых форм (новых пропорций, новой символики), в 1930–1950-е гг. – в

творческой переработке классических форм, в большом внимании к деталям фасадов и интерьеров, активном использовании скульптуры и монументальной живописи. Во второй половине 1950-х – первой половине 1960-х гг. искусство почти «исчезает» из архитектуры, а с конца 1960-х гг. – постепенный поворот к искусству в архитектуре, и в 1970–1980-е гг. произошёл видимый возврат позиций искусства в архитектуре, хотя оно и понималось иначе, чем в 1930–1950-е гг. И всё это происходило при активном участии архитектуроведения, обосновывающего все эти повороты в развитии советской архитектуры.

Иногда вопрос об искусстве в архитектуре называют эстетическим аспектом архитектуроведения. Эстетический идеал – один из общественных движителей художественной стороны архитектуры, одновременно причина и некая форма архитектурного стиля (направления). Он представляет собой интересубъективный элемент в архитектуре и той части архитектуроведения, которая занимается вопросами искусства в архитектуре (как вообще в художественном познании – во второй части гуманитарного знания). Художественное знание называют «инонаучной формой знания» [1, с. 189]. Поэтому в архитектуре художественное знание не «антинаучное», а «инонаучное», т.е. не противопоставлено научному знанию. Действительно, художественная сторона зодчества отражается в архитектуроведении прежде всего тем, что в составе архитектуроведения есть и искусствоведение, и эстетика (а то и другое – науки), изучающие понятие (идеал) красоты, изменяющееся во времени.

Поскольку архитектура, по своей сути, есть общественно наиболее значимое искусство, то и её создание должно опираться на определённые, выработанные обществом правила, а значит, регламентация в ней естественна. Стиль в архитектуре – это тоже общественно выработанная система. В архитектуроведении уже имеется теория стиля, правда, ещё не нашедшая концентрированной и удобной для использования формы.

Архитектура как искусство – это область архитектурной композиции (теория архитектурной композиции исследует вопрос «как?») и архитектурной формы (теория архитектурной формы исследует вопрос «что?»). Но архитектурную форму нельзя изучать без научного знания архитектурных конструкций. И вообще в архитектуре (как, впрочем, и в других искусствах) действуют законы материалов, конструкций и их взаимодействий со средой. Архитектура как искусство изучается с помощью научных методов и графических моделей, понятий и терминов, концепций и теорий, фундаментального и прикладного знаний и т. д. Это и есть общее для всех частей архитектуроведения. Анализ художественного в архитектуре присутствует и в таких его разделах, как психология архитектуры, гигиена архитектуры, теория восприятия архитектуры, видеоэкология, эниология архитектуры и др. Вспомним, что высшее достижение искусства в архитектуре – древнегреческий ордер – это ведь тоже математически рассчитанное целое.

Однако в содержании и форме архитектуры (её в целом, отдельного сооружения или комплекса), кроме рационального, без которого невозможна хотя бы какая-то композиционно-конструктивно-материальная целостность (в виде объекта архитектуры), есть иррациональное. Например, ордерные формы в трактовке мастеров барокко, а художественный образ для многих – ещё более загадочен и труден для объяснения, чем даже физическая архитектурная форма. Иррациональность есть и в процессе творчества (когда как бы ниоткуда приходит в воображение зодчего замысел, а карандаш его проводит нужную линию). В архитектуроведении эти вопросы могут изучаться с помощью исследований связи между человеком, обществом и архитектурой, психологии и социологии творчества личности и коллектива и т.д. Здесь важны все соотношения и нюансы рационального и иррационального в проектах, в законченных произведениях – их реальной жизни и переустройстве, связи всего этого с другими элементами культуры, экономики, общества и природы. Советские архитекторы к 1990-м гг. изучили многие вопросы архитектурного творчества (см. докторскую диссертацию В.Л. Глазычева «Архитектурное творчество и организация архитектурного проектирования», написанную в 1978 г., и другие работы). Однако естественно,

что многое осталось неисследованным, а со временем появляются и новые интересные вопросы об этом.

Некая иррациональность, однако, существует и в самом архитектуроведении. На стыке 1880-х – 1990-х гг. известная часть отечественного архитектуроведения – это эмоциональные впечатления автора, более отражающие его личностные особенности, чем характер объекта изучения. Случается, что в отсутствие точных фактов и, конечно, методологии, в архитектуроведческом произведении предположения, фантазии и домыслы их создателя составляют часть содержания. Если историки архитектуры иногда строят свои произведения на каких-то догадках (о старой архитектуре), то теоретики – на пожеланиях относительно новой, проектируемой архитектуры.

Всё это, а также низкая организация архитектуроведческого знания, необязательность основных знаний, расплывчатость формулировок, нечёткость (разночтение) в терминологии, явно субъективистские понятия и рассуждения, некая художественность текстов даже там, где нужна определённая рациональность и научность и тому подобное – это и есть одна из форм иррациональности в архитектуроведении.

Но перечисленное не есть самое правдивое отражение присутствия искусства в архитектуре. Эту её составляющую (искусство) более продуктивно архитектуроведение сможет исследовать при условии лучшей организации его самого. И в архитектуре искусство тоже можно исследовать современными научными методами, какими уже пользуются учёные для изучения рационального и иррационального в других искусствах, методами не только искусствоведения, но и других наук.

Проблема соотношения науки и искусства в архитектуре и отражение её в архитектуроведении будет постоянно обсуждаться, подобно тому, как будет исследоваться вопрос о соотношении рационального и иррационального в архитектуре. Как раз именно в архитектуроведении непрекращающиеся споры о пропорциях науки и искусства в нём обнаруживают общемировую тенденцию взаимодействия и сближения не только разных наук, но и вообще науки и искусства.

Специфика условий познания – это сложение специфики объектов и предметов познания, общего фона архитектуроведения (в определённый период времени), имеющихся средств развёртывания и интерпретации теоретических систем, а также качеств субъектов познания – исследователей. Последнее чаще всего выступает как причина построения разных теоретических систем, объясняющих одни и те же явления архитектуры, так как исследователь в архитектуроведении – это конкретный человек – с определёнными целями, стилем мышления, предшествующим научным и вообще познавательным опытом.

Специфика функционирования. Проявляется при выполнении задач архитектурной наукой и связана с её местом в архитектурной деятельности.

Специфика во взаимосвязях с практикой. Зависит от вида практики и места архитектуроведения в архитектурной деятельности. В этом оно близко техническим наукам, изучающим и конструирующим объект.

Специфика противоречий. Включает следующие вопросы: разделение взглядов профессионалов на архитектуроведение как на науку или не науку, т. е. противоречия в определении статуса архитектуроведения, определение его границ по принципу архитектурного и внеархитектурного знания, соотношение обязательного и индивидуального в подходах к исследованиям, в выработке архитектуроведческих концепций; соотношение рационального и иррационального в архитектуроведении (методологических и литературно-художественных текстов); противоречивые оценки со стороны разных групп профессионалов архитектурных сооружений, архитектуроведческих работ или в целом творчества одних и тех же исследователей зодчества; параллельное существование и развитие так называемых школ в архитектуроведении (например, сторонников искусствоведческого и структуралистского подходов); длительность коллективных заблуждений, основанных на инерции принятых архитектурно-научным сообществом конвенций, и новые реалии архитектурной практики и науки; апология самобытности отечественного зодчества и «западничество» и т.д.

Специфика исторического развития. Архитектурная наука – одна из самых древних, но не столь быстро развивающихся наук. Однако у неё существуют богатые традиции во взаимоотношениях с практикой. В нашей стране сначала в архитектурной науке в конце XVIII–XIX вв. происходило разделение – дифференциации, а затем в XX в. всё более явно – интеграция. Специфика исторического развития также связана со спецификой предмета исследования, объекта изучения и конструирования объекта науки, по сравнению с другими науками. Архитектурная наука достаточно тесно связана с идеологией общества, поэтому в ней отражаются кризисы общества. Яркий пример тому – советская история (все резкие парадигмальные переходы в архитектуроведении).

Архитектуроведение в развитии можно рассматривать с известной долей условности в трёх аспектах: знание во взаимодействии со своим объектом и предметом исследования – в один из моментов развития, когда объект и предмет взяты как бы застывшими, «конечными», и в определённый период развития, когда объект и предмет рассматриваются в динамике своего развития и взаимодействия с научным знанием о них на каком-то отрезке времени; знание как отдельный феномен, способное системно «самоорганизовываться»; знание во взаимодействии с интерзнанием.

Специфика исторического развития может рассматриваться в разных аспектах, например, специфика развития методов в связи с развитием дисциплин. Среди них в архитектурной науке значительная роль принадлежит классификации, во-первых, как одной из форм анализа, и, во-вторых, как результату этого анализа – в виде определённой специализации объектов (явлений, связей, процессов).

Специфика уровня развития. Может рассматриваться в двух аспектах: развития архитектуроведения в целом в сравнении с другими науками; развития отдельных дисциплин и разделов дисциплин, входящих в архитектуроведение, характеризующееся неравномерностью так же, как неравномерно и развитие каждой дисциплины (или раздела) в составе архитектуроведения. Следовательно, уровень развития у них разный (друг по отношению к другу) и разный уровень развития их отдельных элементов (методов, моделей, терминологии, понятийного аппарата, фактологии, теоретических концепций и схем и т.д.).

По некоторым позициям архитектуроведение значительно уступало многим развитым современным наукам даже на рубеже 1980–1990-х гг:

- **в степени математизации и возможностях математизации.** Математизация архитектуроведения находится на невысоком уровне. Однако её необходимо внедрять лишь в отдельные области или даже узкие вопросы архитектуроведения – в те, которые возможно формализовать. Специфика предметов исследования (и объектов изучения) архитектуроведения в том, что их нельзя изучать только математическими методами, так как они не поддаются полной, а иногда даже частичной формализации;

- **по числу диссертаций** – относительно малом в сравнении с другими науками (химией, медициной, математикой и др.). Оно не соответствует весьма объёмному массиву совокупного объекта исследования – архитектурной сферы и её взаимоотношений с внешним миром;

- **в авторитетности,** связанной с местом в архитектурной деятельности, с вниманием управляющих и финансирующих «структур». Отсутствие должного авторитета провоцируется неконструктивной критикой (часто огульной) архитектурной науки профессионалами-практиками и особенно самими учёными. Науковедение архитектуры призвано поднять авторитет архитектурной науки на соответствующую её фактической роли и ценности высоту;

- **в самосознании** противоречивом – от подчёркивания своей значительности как науки и необходимости для архитектурной сферы до сужения представления (порой не адекватного реальной ценности) об архитектуроведении как о «не науке» и фактической его роли – лишь в качестве основы для профессионального клуба историков, теоретиков и философов архитектуры;

• *в самопознании*, находящемся лишь на первой стадии своего развития, так как архитектуроведение ещё не исследовано с позиций науковедения на таком же уровне и в таком же объёме, как многие другие науки.

В дальнейшем указанные элементы специфики отечественного архитектуроведения будут изменяться неодинаково, поскольку они отражают разные стороны существования архитектурной науки, развитие которой, возможно, обретёт новую силу.

Список литературы

1. Аверинцев, С.С. Символ / С.С. Аверинцев // Крат. лит. энцикл. – М., 1971. – Т. 6. – С. 826–831.
2. Ильин, В.В. Природа науки / В.В. Ильин, А.Т. Калинин. – М.: Высш. шк., 1985. – 230 с.
3. Высоковский, А.А. Методологические проблемы совершенствования архитектурно-градостроительных исследований // Стратегия развития научных исследований в области архитектуры и градостроительства: материалы науч. семинара, апр. 1988 г. – М., 1989. – С.25–34.

References

1. Averintsev, S.S. Symbol / S.S. Averintsev // Lit. encyclopedia. – M., 1971. – T. 6. – P. 826–831.
2. Ilyin, V.V. The nature of science / V.V. Ilyin, A.T. Kalinkin. – M.: Higher. sch., 1985. – 230 p.
3. Vysokovsky, A.A. Methodological problems in improving the architecture and urban studies // Development Strategy Research in Architecture and Urban Planning: mater. of scientific. seminar in April. 1988. – M., 1989. – P.25–34.

*Петербургский государственный
университет путей сообщения*

Россия, 190031, г. Санкт-Петербург,
Московский проспект, д.9

Темнов Владимир Григорьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции
зданий и сооружений», действительный
член академии МАНЭБ
Тел.: +7 906 256-96-19
E-mail: vgtemnov@gmail.com

St. Petersburg State Transport University

Russia, 190031, Saint Petersburg, 9,
Moskovsky Prospect

Temnov Vladimir Grigorievich,
Doctor of Sciences, Professor
of the department «Building constructions of
buildings and structures»,
Member of the Academy IASES
Tel.: +7 906 256-96-19
E-mail: vgtemnov@gmail.com

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИСКУССТВЕННОЙ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОНИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ КОНСТРУИРОВАНИЯ

В.Г. Темнов

Представлены бионические принципы конструирования средовых объектов, полученные автором на основе научных исследований аналогов живой природы. В результате применения этих принципов становится возможным проектировать строительные объекты на базе прототипов природы.

Принципы бионики в сочетании с технологиями автоматизированного сквозного проектирования и управления (ТАСПиУ) позволяют принимать архитектурно-конструктивные решения, совместимые с природной средой. При этом архитекторы и инженеры получают ресурсосберегающую технологию проектирования энергоэффективных и экологически чистых архитектурно-строительных объектов искусственной среды обитания.

Ключевые слова: среда обитания, энергоэффективное здание, ресурсосберегающая технология, методы принятия решений, бионические принципы.

DECISION-MAKING IN THE DESIGN OF ARTIFICIAL HABITAT WITH THE USE OF BIONIC DESIGN PRINCIPLES

V.G. Temnov

Bionic principles of environmental objects design based on research of unique wildlife are presented. The use of these principles, makes it possible to design construction projects based on prototypes of nature.

The principles of bionics together with technology-aided design and control of cross-cutting (TADandC) allow to take architectural designs compatible with the natural environment. At the same time architects and engineers get resource-saving technology of design and environmentally friendly architectural and construction projects of artificial habitat.

Keywords: habitat, energy-efficient building, resource-saving technology, methods of decision-making, bionic principles.

Каждому периоду развития человеческого общества присущи свои конкретные черты, особенности и условия, в которых создаются товары, продукция и к которым предъявляются определенные требования. Для этапа рыночных отношений характерны свои условия, когда рынок выдвигает эффективный механизм регулирования хозяйственной деятельности человечества: *конкуренцию и конкурентоспособность* создаваемой и реализуемой продукции.

К такой продукции относятся не только товары массового потребления, такие, как холодильники, стиральные машины, пылесосы и т.д., но и более актуальные и насущные *строительные изделия*, каковыми являются квартиры, коттеджи, здания или

другие строительные объекты, представляющие искусственные среды обитания человека, животных и растений. На рис.1 приведена схема иерархической структуры сред обитания живых организмов, предложенная автором.

Для того чтобы строительные объекты стали конкурентоспособными, необходимо, чтобы они полностью отвечали своему функциональному назначению: были прочными, надёжными и долговечными; архитектурно выразительными; экономичными и удобными в эксплуатации [1]. Согласно изречению древнеримского архитектора и инженера Витрувия (I в. до н.э.) создаваемые здания и сооружения должны удовлетворять главным требованиям: *быть полезными, прочными и красивыми*.

При этом строительные объекты должны не только отвечать перечисленным выше требованиям, но и гармонично вписываться в общую иерархическую структуру сред обитания живых организмов (см. рис.1), не нарушая тем самым экологического равновесия в природе.

Таким образом, в условиях рынка и конкурентной экономики строительные предприятия успешно развиваются только тогда, когда их изделия, отвечая предъявляемым к ним требованиям, пользуются потребительским спросом.

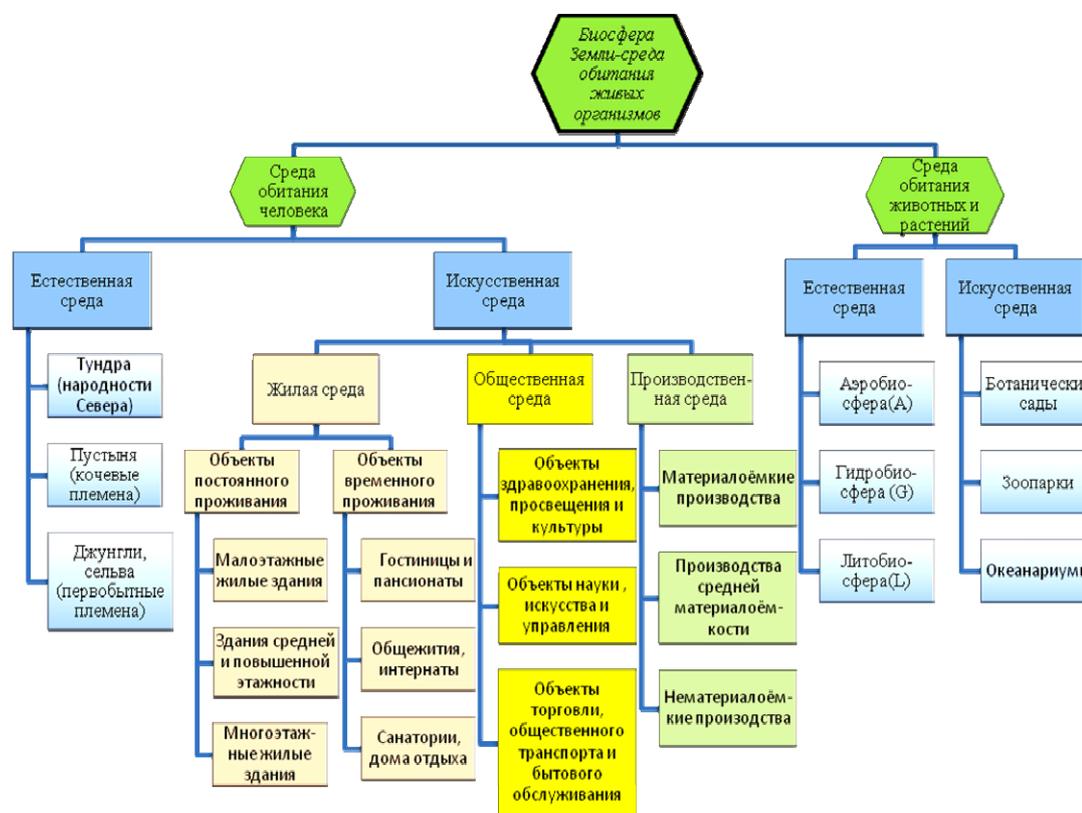


Рис. 1. Иерархическая структура сред обитания живых организмов

В настоящее время стало очевидным, что создать конкурентоспособные строительные объекты (искусственные среды обитания) можно лишь при учете в процессе проектирования всех стадий их жизненного цикла: архитектурно-строительного проектирования; производства материалов, изготовления конструкций и монтажа строительных объектов; эксплуатации, реконструкции и утилизации строительных объектов. Всё это должно быть выполнено за относительно короткое время.

Решение комплексной проблемы, выдвинутой рыночной экономикой, стало возможным лишь на основе современной компьютерной техники, обеспечивающей реализацию концептуальной модели автоматизированного сквозного проектирования и управления (менеджмента) в строительстве [1].

Именно идеология *технологии автоматизированного сквозного проектирования и управления* (ТАСПиУ) позволяет увязать все стадии жизненного цикла строительной

продукции: от технико-экономического обоснования (тендерные проекты) до разработки рабочих чертежей строительного объекта; от изготовления несущих и ограждающих конструкций с учетом их согласованности с инженерными сетями и оборудованием, а также технологиями производства и монтажа до эксплуатации, реконструкции и дальнейшей утилизации.

В результате проведенных исследований с использованием средств архитектурно-строительной бионики были установлены общие и отличительные стороны конструктивных систем живых организмов и конструктивных систем, создаваемых человеком. Следует отметить, что предметом исследования архитектурно-строительной бионики [1-3] являются *биологические системы* (конструкции живых организмов, механизмы приспособления их к изменениям естественной среды – биосферы Земли; строение биологического материала; образование структур и форм в процессе роста живых конструкций и т.д.) и *искусственные конструктивные системы* с присущими им природными характеристиками (прочностью, легкостью, способностью накапливать максимальное количество упругой энергии от внешних силовых воздействий, не разрушаясь, и т.д.).

Как показали результаты исследований, биологические и искусственные конструкции представляют собой достаточно прочные, жесткие и устойчивые системы, способные противостоять одинаковым внешним силовым воздействиям окружающей среды. Однако конструкции живых организмов находятся в состоянии динамического равновесия, т.е. непрерывно воссоздаются, в то время как искусственные конструкции в определенных временных границах остаются относительно неизменными. Это связано с природой организации биологических систем, в которых заложен принцип постоянства структур и форм конструкций через их функции за счет непрерывных затрат энергии и обмена веществ (метаболизма). Вне функции конструкции существовать не могут. Состояние динамического равновесия есть не что иное, как процесс полуобновления конструктивных систем в живых организмах, мерой которого является время (период):

$$t = \ln 2 / \eta = 0,6931 \theta,$$

где η – биологическая константа; $\theta = 1 / \eta$ – средняя продолжительность жизни вещества, из которого состоят конструктивные системы.

Окончательные решения конструктивных систем живые организмы приобретают под воздействием внешней (естественной) среды. Причем эти решения всегда отвечают объективной реальности, а не опережают условия развития окружающей естественной среды и поэтому не приводят к возникновению экологических проблем в природе.

Чтобы сохранить природу и жить в гармонии, необходимо создавать конструктивные системы, способствующие сближению с природой, а не разрыву с ней. Для этого в процессе конструирования строительных объектов следует широко использовать бионические принципы и закономерности.

Основу архитектурно-строительной бионики составляют следующие бионические принципы конструирования, установленные в результате научных исследований аналогов живой природы [1–3]:

1. *Принцип траекториального строения* конструктивных систем, согласно которому элементы в конструкциях размещаются в соответствии с геометрией силового поля по траекториям главных деформаций (рис.2);

2. *Принцип направленной формы потери устойчивости* конструктивных систем, согласно которому конструктивным элементам, подверженным продольному изгибу или изгибу из плоскости, придаются очертания в соответствии с направленной формой потери устойчивости (рис.2);

3. *Принцип трансформно-полигональных структур* конструктивных систем, согласно которому структура конструктивных систем образуется на основе сочетания плотной упаковки структурных ячеек и гетерогенного размещения материала в их гранях (рис.3);

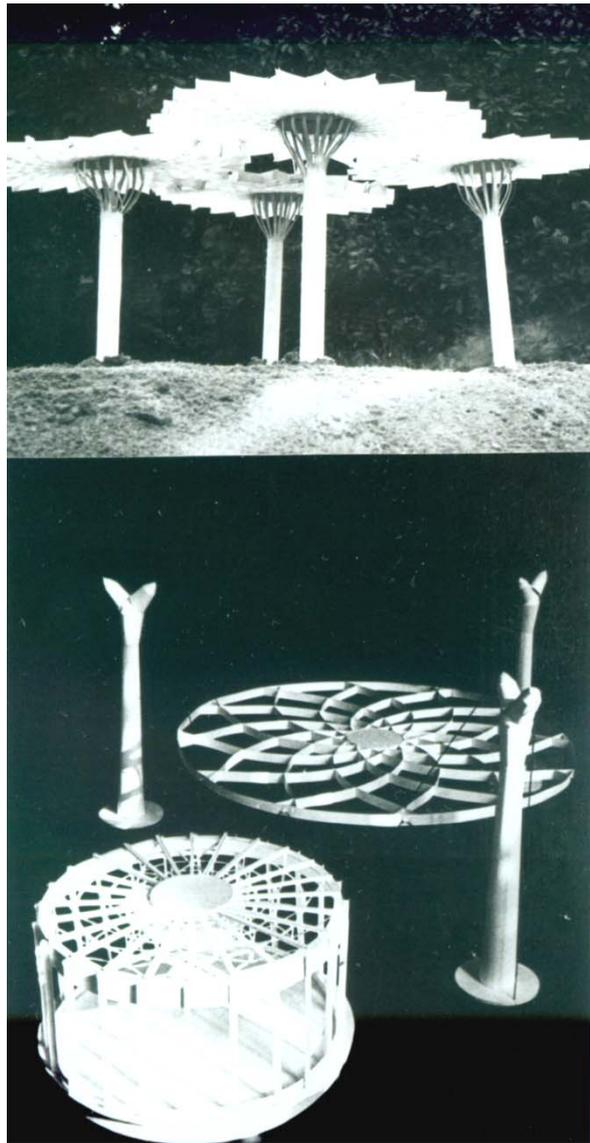


Рис.2. Конструктивные решения навеса и спортивно-концертного зала
(инж. Темнов В.Г., арх. Радеев О.Н., дизайнер Фаорова Л.Г.)

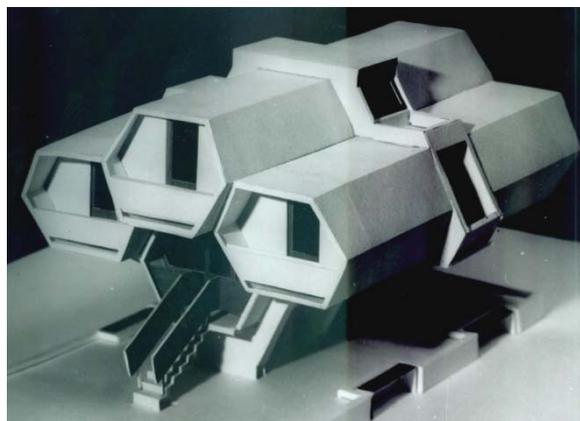


Рис. 3. Мобильный жилой дом в бионических конструкциях для северных районов
(арх.Чернов Е.Е., инж. Темнов В.Г., Митрофанов Е.Н.)



Рис. 4. Мобильный дом на базе резильяновых конструкций (инж. Темнов В.Г.)

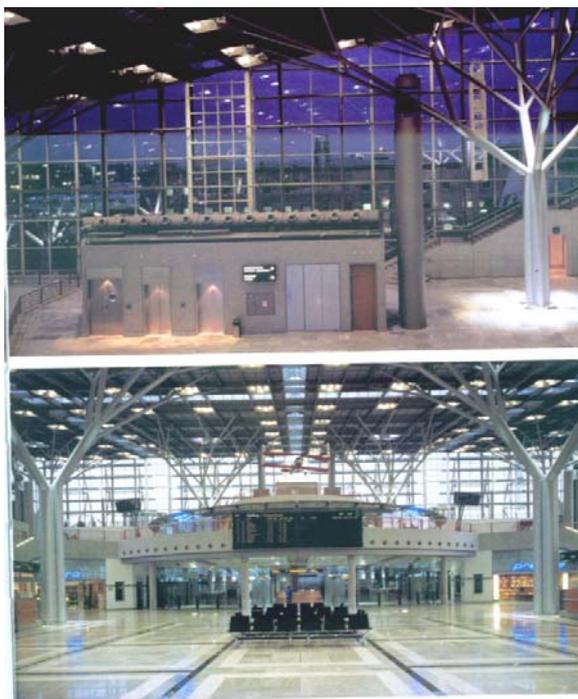


Рис. 5. Аэропорт в Штуттгарте (architect Meinhard von Gerkan)



Рис. 6. Бионическая конструкция трансформируемого дома с активным регулированием параметров НДС (инж. Темнов В.Г., Задвин М.М., дизайнер Фаорова Л.Г.)

4. *Принцип резильянса* (англ. -resilience – упругость, эластичность) в конструктивных системах, согласно которому строение конструкций должно обеспечивать им свойства (способность) накапливать максимальное количество упругой энергии деформации без разрушения под действием внешних сил (рис.4);

5. *Принцип энергетической аппроксимации* устойчивых форм равновесия конструктивных систем, согласно которому материализация конструкции осуществляется в соответствии с очертаниями предельных устойчивых форм равновесия (рис. 4, 5);

6. *Принцип морфологического ветвления*, согласно которому в процессе создания конструкций образуется разветвлённая система, состоящая из элементов с взаимообусловленными связями. Это позволяет из элементов, обладающих однородными свойствами, конструировать несущие системы (каркасы), оптимальные по массе (см. рис. 5);

7. *Принцип регулирования параметров НДС* (напряженно-деформированного состояния) конструктивной системы, согласно которому минимизация массы конструктивной системы осуществляется за счет пассивного или активного регулирования её НДС (рис. 6).

Бионические принципы позволяют проектировщикам видеть, в каком направлении следует вести поиск выразительных архитектурных форм, эффективных конструктивных систем, минуя ненужный перебор вариантов, экономя при этом время и средства.

Заключение

Сочетание опыта живой природы, как эвристического приёма, с технологиями автоматизированного сквозного проектирования и управления (ТАСПиУ) позволило создать надёжную базу для разработки общих и высокоэффективных средств поиска рациональных, экологически чистых архитектурно-конструктивных систем искусственной среды обитания.

Список литературы

1. Темнов, В.Г. Конструктивные системы в природе и строительной технике / В.Г. Темнов. – СПб.: Компьютербург, 2001. – 61 с.
2. Лебедев, Ю.С. Архитектурная бионика / Лебедев Ю.С. [и др.]. – М.: Стройиздат, 1990. – 269 с.
3. Системы бионические архитектурно-строительные. Энциклопедический словарь / под ред. А.А. Гусакова. – М.: Изд-во «Ассоциации строительных вузов», 2004. – С.254–260.

References

1. Temnov, V.G. Structural systems in nature and building technology / V.G. Temnov. – SPb.: Kompyuterburg, 2001. – 61 p.
2. Lebedev, U.S. Architectural bionics / U.S. Lebedev [etc.]. – M.: Stroiizdat, 1990. – 269 p.
3. Bionic architecture and building construction systems. Encyclopedic dictionary / edited by A.A. Gusakova. – M.: Publishing House «Association of building schools», 2004. – P.254–260.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 691.328:338.45:005

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Хрусталеv Борис Борисович,
доктор экономических наук, профессор,
зав. кафедрой экономики, организации
и инвестиций
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 экономики, организации
и инвестиций

Penza State University of Architecture and Construction

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

Khrustalev Boris Borisovich,
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Head of the department of Economics,
organization and investment
E-mail: hrustalev_bb@mail.ru

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

Uchaeva Tatyana Vladimirovna,
Postgraduate of the department Economics,
organization and investment

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В РАМКАХ МОНИТОРИНГА

Б.Б. Хрусталеv, В.И. Логанина, Т.В. Учаева

Показано влияние вариаций параметров качества на конкурентоспособность продукции, а также оптимизации финансовых затрат предприятия на качество.

Ключевые слова: приемочный контроль качества, вариации параметров, модель анализа процесса.

PROCESS CONTROL EFFECTIVENESS THROUGH MONITORING UNDER DIFFERENT SITUATIONS

B.B. Khrustalev, V.I. Loganina, T.V. Uchaeva

The effect of quality parameters variations on products competitiveness, as well as quality optimization and financial costs of the enterprise are shown.

Keywords: acceptance quality control, variation, process analysis model.

Анализ результатов контроля качества бетонных изделий, взятых в течение последних 3-х лет в лабораториях некоторых предприятий стройиндустрии г.Пензы, показывает, что уровень брака составляет 1,5–6 %. Зачастую процесс производства является нестабильным и невоспроизводимым. В связи с этим проблема повышения конкурентоспособности бетонных и железобетонных изделий является актуальной.

На наш взгляд, повышение качества и конкурентоспособности продукции, предприятия можно достичь путем применения статистических методов. В соответствии с Законом

«О техническом регулировании» основными элементами технического регулирования являются нормирование требований, обеспечивающих безопасность, и подтверждение соответствия продукции установленным требованиям. Любой выход за границы допуска считается нарушением. Известно, что любой процесс изготовления продукции связан с вариациями его параметров, вызванными большим количеством воздействующих на него факторов. На изменчивость результатов измерений могут влиять многие различные факторы, в том числе:

- а) оператор;
- б) используемое оборудование;
- в) калибровка оборудования;
- г) параметры окружающей среды (температура, влажность, загрязнение воздуха и т.д.);
- д) интервал времени между измерениями.

Для оценки соблюдения технологии служба контроля проводит входной, операционный и приемочный контроль качества. Между тем имеется некая неопределенность суждения по измеренному значению о принадлежности фактического значения технологического фактора заданному диапазону, так как существуют ошибки приборов, фиксирующих значения факторов при реализации процесса. В работе [1] показано, что соотношение между диапазоном изменения фактора и диапазоном ошибки прибора позволяет получить меру неопределенности суждения о соблюдении требований технологии.

В работе [2] отмечается, что достоверность соблюдения технологии производства бетонных стеновых камней, оцененная с учетом только для 5 показателей качества, составляет 0,8924. Последнее означает, что если все измеренные значения показателей лежат внутри допустимых пределов, то фактические значения для 10,76 % продукции могли оказаться вне разрешенных пределов. С учетом большего количества показателей, оцененных в ходе входного, операционного контроля, достоверность соблюдения технологии будет значительно меньше. Из этого следует вывод о необходимости увеличения точности измерительных приборов и повышения достоверности контроля.

Практика показывает, что внедрение статистических методов контроля и управления качеством продукции позволяет снизить процент брака, повысить стабильность производства, что даст возможность гарантировать потребителю высокое качество продукции.

Японский специалист по статистике Тагути предложил характеризовать производимые изделия устойчивостью технических характеристик и объединил стоимостные и качественные показатели в так называемую функцию потерь, которая одновременно учитывает потери как со стороны потребителя, так и со стороны производителя [1].

Функция потерь имеет следующий вид:

$$L(y_i) = k(y_i - y_0)^2, \quad (1)$$

где L – потери для общества (величина, учитывающая потери потребителя и производителя от бракованной продукции; k – постоянная потеря, определяемая с учетом расходов производителя изделий; y – значение измеряемой функциональной характеристики; y_0 – целевое значение рассматриваемой характеристики.

Если перейти к обсуждению уровня качества совокупности, состоящей из N единиц продукции, то формула (1) будет иметь вид

$$\sum_{i=1}^{i=N} L(y_i) = k \sum_{i=1}^{i=N} (y_i - y_0)^2 = k \left[\sum_{i=1}^{i=N} y_i^2 - 2y_0 N \mu + N y_0^2 \right], \quad (2)$$

здесь μ – среднее арифметическое совокупности, равное

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} y_i. \quad (3)$$

В соответствии с выражением (1) потери определяются положением среднего μ относительно целевого значения y_0 и разбросом значений характеристики вокруг своего среднего.

Существует понятие полной вариации S_T характеристики y в рассматриваемой выборке из N единиц

$$S_T = \sum_{i=1}^{i=N} (y_i - y_0)^2. \quad (4)$$

Полная вариация S_T состоит из двух компонент

$$S_T = S_m + S_e. \quad (5)$$

Компонента S_e (фактор ошибки) определяется выборочной дисперсией

$$S_e = (N - 1)S \quad (6)$$

и представляет собой вклад в полную вариацию того фактора, который приводит к разбросу значений характеристики вокруг их среднего значения.

Вторая компонента полной вариации вычисляется в соответствии с выражением

$$S_m = N(\bar{x} - y_0)^2 \quad (7)$$

и определяется значением выборочного среднего \bar{x} относительно целевого значения y_0 функциональной характеристики.

Коэффициенты, учитывающие вклад каждого из факторов, определяются по формулам:

$$\rho_m = \frac{S_m}{S_T} 100\%; \quad (8)$$

$$\rho_e = \frac{S_e}{S_T} 100\%. \quad (9)$$

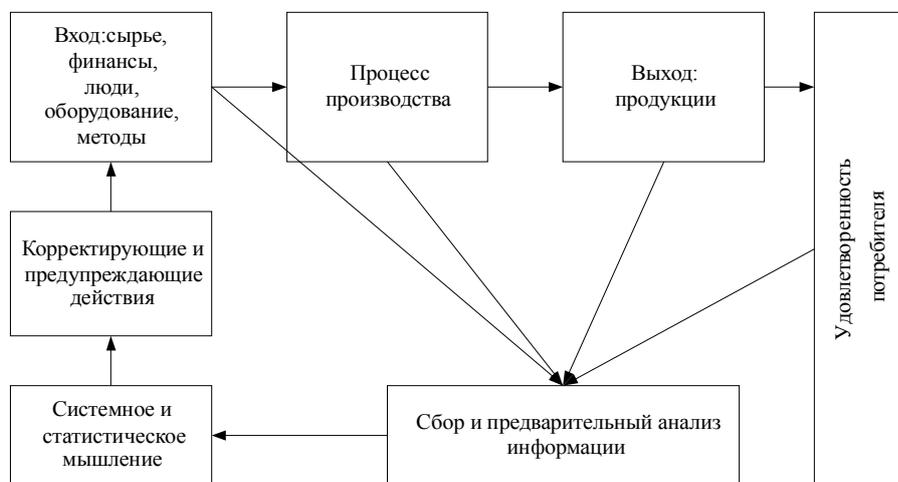
Для исправления ситуации производитель должен привлечь финансовые средства. При наладке технологических процессов требуется настроить процесс таким образом, чтобы среднее μ совпадало или было близко к целевому значению y_0 , либо уменьшить разброс значений характеристики y_i вокруг своего среднего μ . Две рассмотренные ситуации требуют различных по масштабу финансовых вложений. Вклад каждого составляющего в уровень качества и финансовые затраты различен. Разделить полную вариацию на две составляющие и получить соответствующие коэффициенты вклада важно потому, что они позволяют направить усилия организации-производителя в нужном направлении.

Разделение причин вариаций на общие и специальные принципиально для принятия правильных управленческих решений, поскольку уменьшение вариаций в этих двух случаях требует различного подхода. Специальные причины вариаций требуют локального вмешательства в процесс, тогда как общие причины вариаций требуют вмешательства в систему и принятия решений высшим менеджментом, в том числе и по вопросам выделения ресурсов на улучшение процесса. В связи с этим весьма актуальным является организация на производстве процесса мониторинга, направленного на постоянную диагностику ситуации. Он призван представить текущую информацию в такой форме, чтобы было ясно, какие решения следует принимать на ее основе.

Локальное вмешательство обычно осуществляется людьми, занятыми в процессе и близкими к нему (т.е. это линейный персонал, линейные руководители и т.д.). Вмешательство в систему почти всегда требует действий со стороны высшего менеджмента.

С другой стороны, излишнее вмешательство в стабильный процесс будет ошибочным решением (излишней регулировкой), которое чаще всего приводит к ухудшению характеристик процесса.

Нами предлагается модель анализа процесса, приведенная на рисунке, принципиальное отличие которой – блок статистического мышления в цепи обратной связи.



Модель анализа процесса

С практической точки зрения ситуация сводится к диагностике стабильности и воспроизводимости процессов. Возможна следующая ситуация, когда процесс:

- 1) стабилен и воспроизводим;
- 2) стабилен, но не воспроизводим;
- 3) не стабилен, но воспроизводим;
- 4) не стабилен и не воспроизводим.

В первом случае вмешательства со стороны руководства и линейного персонала не требуется, во втором случае требуется вмешательство высшего руководства. В третьем случае требуется безотлагательное вмешательство в процесс со стороны линейного персонала с целью обнаружения этой специальной причины вариабельности и её скорейшего устранения. В четвертом случае, так как процесс не стабилен и не воспроизводим, то требуется вмешательство линейного персонала для обнаружения причин специальных вариаций и приведение процесса в статистически управляемые условия. Затем можно проводить мероприятия, направленные на изменение системы со стороны высшего руководства.

Таким образом, для регулирования технологического процесса с целью обеспечения его стабильности и воспроизводимости и соответственно повышения качества продукции необходимо системное внедрение на предприятии статистических методов, предусматривающих корректирующие и предупреждающие действия. Это позволит оптимизировать финансовые затраты на обеспечение качества продукции.

Список литературы

1. Кузнецов, Л.А. Оценка достоверности контроля рамочной технологии / Л.А. Кузнецов // Методы менеджмента качества. – 2007. – № 8. – С.28–32.
2. Логанина, В.И. К вопросу о достоверности контроля при производстве бетона / В.И. Логанина, А.Н. Круглова // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. – Белгород, 2011. – №4. – С.24–26.

References

1. Kuznetsov, L.A. Reliability monitoring evaluation of framework technology / L.A. Kuznetsov // Methods of quality management. – 2007. – № 8. – P.28–32.
2. Loganina, V.I. To the question of reliability of control in concrete manufacture / V.I. Loganina, A.N. Kruglova // Journal BSTU named after V.G.Shuhova. – Belgorod, 2011. – № 4. – P.24–26.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Хаметов Тагир Ишмуратович,
доктор экономических наук, профессор
кафедры «Землеустройство и геодезия»
Тел.: (8412) 48-74-77
E-mail: zig@pguas.ru

Букин Сергей Николаевич,
аспирант кафедры «Землеустройство
и геодезия»
Тел.: 8-927-097-59-41
E-mail: seregabukin@rambler.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Khametov Tagir Ishmuratovich,
Doctor of economic sciences, Professor
of the department «Land use and geodezy»
Tel.: (8412) 48-74-77
E-mail: zig@pguas.ru

Bukin Sergey Nicolaevich,
Postgraduate of the department «Land use
and geodezy»
Tel.: 8-927-097-59-41
E-mail: seregabukin@rambler.ru

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНВЕСТИРОВАНИЯ В ИННОВАЦИОННУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Т.И. Хаметов, С.Н. Букин

Изложены методологические основы определения эффективности управления инновационной деятельностью предприятий строительного комплекса. Представлены результаты анализа методов определения эффективности управления инновациями на предприятиях, приведен пример расчёта.

Ключевые слова: эффективность, управление, инновационная деятельность, риски инвестирования, строительный комплекс.

COST-EFFECTIVE OF INVESTMENT IN INNOVATION ACTIVITY OF CONSTRUCTION COMPANIES

T.I. Khametov, S.N. Bukin

The methodological basis for determining the effectiveness of innovation management construction companies are set out. The analysis of methods for determining the effectiveness of innovation in enterprises is performed.

Keywords: efficiency, management, innovation, investment risks, building complex.

Использование инноваций в строительной отрасли на современном этапе является одной из наиболее актуальных проблем российской экономики. Для осуществления инновационной деятельности необходимы инвестиции, а управление процессом инвестирования должно осуществляться целенаправленно и обоснованно. Эффективность – ключевой фактор в вопросах, касающихся капиталовложений, в том числе и в сфере инновационной деятельности предприятий строительного комплекса.

Анализ экономической литературы [1,2,3,4] показал, что критерии и показатели эффективности для каждой системы зависят от особенностей экономики, механизма хозяйствования, объекта исследования, установок и точек зрения ученых-экономистов. Учёные предлагают различные классификации понятия «эффективность» и методы ее определения. В общем случае эффективность – соотношение между издержками факторов производства и объемом товаров и услуг. Соотношение между издержками и объемом производства (услуг) измеряется как в физическом, так и в стоимостном выражении. Лишь при достижении конкретными производственными ресурсами суммарного чистого дохода можно говорить об эффективности.

По мнению авторов, эффективность можно определять не только как соотношение результатов и затрат, но и как степень соответствия полученных результатов ожиданиям заинтересованных лиц. Эти ожидания зависят не только от произведенных затрат ресурсов, времени, капитала, но и, в не меньшей степени, от информации о результатах функционирования аналогичных или подобных объектов в сопоставимых условиях. Множественность производственных, ресурсных, финансовых факторов создает предпосылки для вариации альтернативных инновационных решений. Технико-экономическое обоснование инновационного проекта будет более аргументированным и объективным, если в нем будет проведено сопоставление факторов реализуемости и результативности по инновационным альтернативам [5].

Рассмотрим сферу строительства в Пензенской области, где одним из эффективных направлений развития регионального строительного комплекса является инновационное [6, с.157].

О развитии инновационного сектора экономики свидетельствуют результаты рейтинга инновационной активности регионов в 2009 году, составленного Национальной ассоциацией инноваций и развития информационных технологий (НАИРИТ). Пензенская область занимает третье место среди регионов с высокой инновационной активностью, и, учитывая это, можно уверенно говорить о несомненном успехе Сурского края в активизации процессов построения инновационной экономики. Успех достигнут путем проведения комплексной и поэтапной работы по формированию прочной основы для обеспечения экономического роста на основе применения инновационных технологий (табл. 1) [7].

Т а б л и ц а 1

Показатели инновационного развития Пензенской области по годам

Показатели	2006	2007	2008	2009	2010
1	2	3	4	5	6
1. Объем отгруженной продукции собственного производства; выполнено работ и услуг собственными силами, млн.руб.	41038,7	51106,5	60886,4	59129,5	94036,5
2. Объем отгруженной инновационной продукции организациями промышленности, млн.руб., из них:	2845,0	3224,2	3062,9	3217,7	3554,9
– товары, вновь внедренные или подвергшиеся значительным технологическим изменениям в течение трех последних лет	1126,1	1942,8	1486,4	2010,3	1702,4
– товары, подвергшиеся усовершенствованию в течение трех последних лет	1718,9	1281,4	1576,5	1207,4	1852,6
3. Доля инновационной продукции в общем объеме отгруженных товаров (работ, услуг), %	6,9	6,3	5,0	5,4	4,9
4. Уровень новизны инновационной продукции (доля принципиально новой продукции и продукции, подвергшейся значительным технологическим изменениям) от общего объема отгруженной инновационной продукции, %	40,0	60,0	48,5	62,5	46,6
5. Выполненный объем научных работ, млн.руб., из них:	2286,0	3459,6	3560,8	3843,1	4895,7
– исследования и разработки	1588,0	1870,0	1819,40	2358,9	3280,8
– научно-технические услуги	363,0	116,0	118,4	105,3	87,9
– прочие	335,0	1472,0	1623,0	1378,9	1527,1

1	2	3	4	5	6
6. Выполненный объем научных работ собственными силами, млн.руб., из них:	1946,0	3171,8	3022,8	3511,7	4143,2
– исследования и разработки	1339,0	1696,0	1619,4	2097,2	2581,2
– научно-технические услуги	332,0	102,0	89,7	90,4	79,8
– прочие	275,0	1372,0	1313,7	1324,1	1482,1

Динамика показателей, представленных в табл. 1, свидетельствует о положительном влиянии управленческих решений на развитие инновационной сферы Пензенской области в целом.

Общая экономическая эффективность проведенных мероприятий может рассчитываться на основе следующих показателей: чистый дисконтированный доход, индекс доходности, норма доходности, срок окупаемости инвестиций. Эти показатели определяются с учетом объема затрат и дают оценку эффективности варианта инновационного проекта.

К показателям сравнительной экономической эффективности относятся: сравнительная величина экономического эффекта вложений по приведенным затратам, коэффициент дополнительных инвестиций и срок окупаемости.

Указанные выше показатели общей и сравнительной экономической эффективности должны использоваться в комплексе (так как дополняют друг друга) и применяться при реализации инвестиционных проектов застройки (реконструкции) зданий, сооружений.

Следует отметить, что эффективность системы управления инновационной деятельностью предприятий строительного комплекса нельзя оценивать лишь по показателям эффективности инвестиционных проектов. Она должна отражать непосредственно показатель деятельности по управлению или результативности, то есть воздействие управления на целевой объект. Показатель результативности должен давать оценку уровню достижения поставленных целей органами управления и отвечать следующим требованиям: специфичность, измеряемость, достижимость, адекватность, привязка к периодам отчетности.

Для более полной оценки общей экономической эффективности инвестиций в инновационные проекты авторы предлагают систему показателей, представленных в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Показатели оценки общей экономической эффективности инвестиций в инновационные проекты

Показатель	Сущность показателя
1	2
Период окупаемости РВ, мес.	Период времени, необходимый для полного возмещения инвестиций за счет чистых денежных средств, полученных от проекта.
Дисконтированный период окупаемости ДРВ, мес.	<p>Время, которое требуется, чтобы инвестиция обеспечила достаточные поступления денег для возмещения инвестиционных расходов, при этом учитывается временная стоимость денег:</p> $DPP = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \geq I_0,$ <p>где n – число периодов; CF_t – приток денежных средств в период t; r – барьерная ставка (коэффициент дисконтирования); I_0 – величина исходных инвестиций в нулевой период.</p>
Средняя норма рентабельности ARR, %	<p>Средняя норма рентабельности (average rate of return – ARR) – это отношение между среднегодовыми поступлениями и величиной начальных инвестиций:</p> $ARR = \frac{\left(\sum_{t=1}^n CF_t \right) : \left(\frac{N}{12} \right)}{Investments},$ <p>где Investments – начальные инвестиции; CF_t – чистый денежный поток периода t; N – длительность проекта в периодах.</p>

1	2
Чистый приведенный доход NPV	<p>Чистый приведенный доход (net present value – <i>NPV</i>) – это:</p> <ul style="list-style-type: none"> • сумма текущих эффектов за весь расчетный период, приведенная к начальному шагу; • превышение интегральных результатов над интегральными затратами; • абсолютная величина дохода от реализации проекта с учетом ожидаемого изменения стоимости денег и зависит от нормы дисконта: $NPV = \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+r)^{t-1}} - Investments,$ <p>где Investments – начальные инвестиции; CF_t – чистый денежный поток периода t; N – длительность проекта в периодах; r – ставка дисконтирования.</p>
Индекс прибыльности PI	<p>Индекс прибыльности (profitability index, <i>PI</i>) – это:</p> <ul style="list-style-type: none"> • увеличенное на единицу отношение <i>NV</i> к накопленному объему инвестиций; • увеличенное на единицу отношение <i>NPV</i> к накопленному дисконтированному объему инвестиций; отношение суммы приведенных эффектов к величине капиталовложений. $PI = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+r)^{t-1}}}{Investments},$ <p>где Investments – начальные инвестиции; CF_t – чистый денежный поток периода t; N – длительность проекта в периодах; r – ставка дисконтирования.</p>
Внутренняя норма рентабельности IRR, %	<p>Внутренняя норма рентабельности (internal rate of return – <i>IRR</i>) – это положительное число, при котором при норме дисконта, равной этому числу, чистый дисконтированный доход (<i>NPV</i>) проекта обращается в 0; такая норма дисконта, при которой величина приведенных эффектов равна приведенным капиталовложениям:</p> $\sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+IRR)^{t-1}} - Investments,$ <p>где Investments – начальные инвестиции; CF_t – чистый денежный поток периода t; N – длительность проекта в периодах; <i>IRR</i> – внутренняя норма рентабельности.</p>
Модифицированная внутренняя норма рентабельности MIRR, %	<p>Норма рентабельности реинвестиций означает доход, который может быть получен при реинвестировании поступлений от проекта:</p> $TV = \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+R)^{t-N}}$ <p>где R – норма рентабельности реинвестиций (месячная); N – длительность проекта в периодах; CF_t – чистый денежный поток периода t.</p>

Т а б л и ц а 3

Показатели эффективности инвестирования предприятий

Показатель	Форма инвестирования	Предприятие			
		ООО «СПиНТ»	ООО «Экоресурс»	ООО «Пено-керамобетон»	ООО «ЭСДИТ»
1	2	3	4	5	6
Период окупаемости РВ, мес.	Грант	16	11	13	9
	Кредит	33	31	11	13
Дисконтированный период окупаемости DPВ, мес.	Грант	16	11	13	9
	Кредит	36	31	1770,49	13
Средняя норма рентабельности ARR, %	Грант	540,40	427,14	1194,37	840,16
	Кредит	51,58	141,03	11678688	423,11

1	2	3	4	5	6
Чистый приведенный доход NPV	Грант	722420	2514057	11331229	9299411
	Кредит	35143	1663435	40,43	7443507
Индекс прибыльности PI	Грант	12,43	12,81	26,9	18,33
	Кредит	1,06	4,23	10000	8,74
Внутренняя норма рентабельности IRR, %	Грант	558,40	10000	1173	10000
	Кредит	20,84	87,18	303,13	9
Модифицированная внутренняя норма рентабельности MIRR, %	Грант	172,11	134,01	251,93	13
	Кредит	19,62	61,74	13	9

Результаты расчётов по формулам, приведённым в табл. 2, представлены в табл. 3. В заключение сформулируем следующее.

Изучение состояния экономической эффективности инновационной деятельности в сфере строительства является актуальным и востребованным

Оценку общей экономической эффективности инвестиций в инновационные проекты следует осуществлять по предлагаемой системе показателей инновационной эффективности предприятий (см. табл. 2). Результаты проведённых расчётов экономической эффективности инвестиций в инновационную деятельность строительных предприятий свидетельствует о реальных перспективах использования предлагаемой системы показателей.

Список литературы

1. Азрилиян, А.Н. GDE: 25000 терминов / А.Н. Азрилиян; под ред. А.Н. Азрилияна, О.М. Азрилияна, Е.В. Калашникова. – 6-е изд., доп. – М.: Ин-т новой экономики, 2004. – 1376 с.
2. Борисов, А.Б. Большой экономический словарь / А.Б. Борисов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Книжный мир, 2007. – 860 с.
3. Полянский, А.И. Управление государственной недвижимостью: Вопросы теории и практики: дис... д-ра экон. наук / А.И. Полянский. – М.: МРГБ, 2002. – 292 с.
4. Райзберг, Б.А. Современный экономический словарь / Б.А. Райзберг, Л.Ш. Лозовский, Е.Б. Стародубцева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 485 с.
5. Тумина, Т.А. Методология оценки эффективности инновационной деятельности. / Т.А. Тумина. – Режим доступа: http://morvesti.ru/archive/TDR/element.php?IBLOCK_ID=66&SECTION_ID=1389&ELEMENT_ID=4112
6. Савченков, А.В. Стратегическое развитие регионального строительного комплекса на основе инноваций / Ю.С. Артамонова, Б.Б. Хрусталева, А.В. Савченков, И.В. Оськина // Региональная архитектура и строительство. – 2010. – №2. – С.152–162.
7. Практика внедрения инноваций в Пензенской области. – Режим доступа: <http://inno-terra.ru/potential>

References

1. Azrilian, A.N. BES: 25000 terms / A.N. Azrilian; pod red. A.N. Azrilian, O.M. Azrilian, E.V. Kalashnikova. – 6-ed. dop. – M.: In-t of new economy, 2004. – 1376.
2. Borisov, A.B. Large economic dictionary / A.B. Borisov. – 2-ed. – M.: Book World 2007. – 860 p.
3. Polyansky, A.I. Public real estate management: Question of theory and practice [text]: DIS ... Dr. econ. Science / A.I. Polanskiy. – M.: MRGB, 2002.– 292 p.
4. Rajzberg, B.A. Modern dictionary / B.A. Raizberg, H.P. Lozovsky, E.B. Starodubtseva. – 4-ed. – M.: INFRA-M, 2005. – 485 p.
5. Tumina T.A. Methodology to measure the performance of innovation. – Mode of access: http://morvesti.ru/archive/TDR/element.php?IBLOCK_ID=66&SECTION_ID=1389&ELEMENT_ID=>4112
6. Savchenkov, A.V. Strategic development of regional construction industry through innovation / Y.S. Aratmonova, B.B. Khrustalev, A.V. Savchenkov, I.V. Oskina // Regional architecture and construction. – 2010. – № 2. – P.156–162.
7. The practice of innovation in Penza region. – Mode of access: <http://inno-terra.ru/potential>

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

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

Гусев Алексей Дмитриевич,
аспирант кафедры «Инженерная экология»

Симакина Галина Николаевна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Инженерная экология»
E-mail: gala_xy@mail.ru

Penza State University of Architecture
and Construction

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

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

Gusev Alexey Dmitrievich,
Postgraduate student of the department
«Engineering ecology»

Simakina Galina Nikolaevna,
Candidat of Science, Associate professor
of the department «Engineering ecology»
E-mail: gala_xy@mail.ru

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РЫНКА ЧЕРЕПИЦЫ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

В.С. Демьянова, А.Д. Гусев, Г.Н. Симакина

Представлены результаты изучения инновационного сектора экономики – рынка гибкой черепицы, используемой в строительном комплексе Пензенской области. Предложены направления утилизации продуктов переработки изношенных автомобильных шин с целью создания отечественной резиновой черепицы.

Ключевые слова: направления развития, рынок, черепица, строительство, инновации, экономика, вторичные материальные ресурсы, экоиндустрия.

THE BASIC DIRECTIONS OF TILE MARKET DEVELOPMENT THE BUILDING COMPLEX OF THE PENZA REGION

V.S. Demyanova, A.D. Gusev, G.N. Simakina

The authors present the results of researching one of the innovative economic segment – a market of pliable tile used in building complex of the Penza region. Besides they offer processing of worn automobile tires for making Russian rubber tile.

Keywords: direction of the market, tile, construction, innovation, economy, secondary material resources, environmental industry.

Развитие рынка кровельных материалов обусловлено увеличением темпов коттеджного строительства, доля которого в общем объеме домостроения достигает 30 %. Из всех ныне существующих материалов для устройства кровли наиболее перспективной считается кровля, выполненная из резино-битумных гибких материалов. Рост объемов потребления битумной черепицы постепенно приводит к вытеснению популярной ранее металлочерепицы (рис.1).

Создание экономичного отечественного кровельного материала, в том числе с использованием техногенных отходов, не уступающего по эксплуатационным показателям зарубежным и известным отечественным аналогам, способствует решению как технических, так и экологических задач [1, 2].

На протяжении последних пяти лет, по данным Национальной ассоциации инноваций и развития информационных технологий (НАИРИТ), в Пензенской области активно развивается инновационный сектор экономики. Область занимает третье место среди регионов с высокой инновационной активностью (данные 2009 г.).

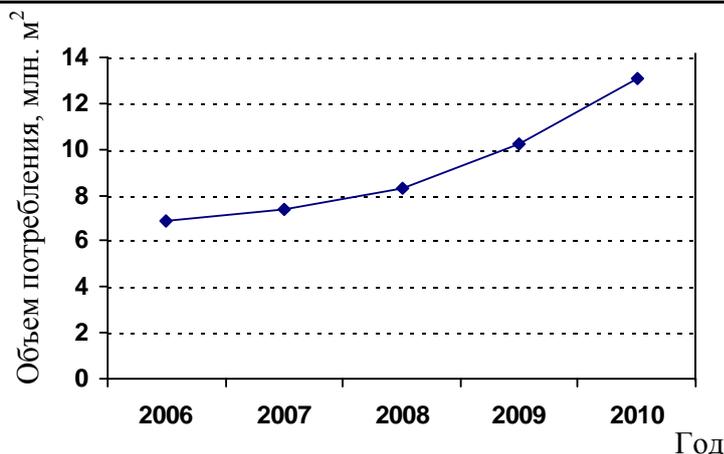


Рис.1. Объемы потребления битумной черепицы

Одним из актуальных направлений инновационного развития экономики Пензенской области является создание экоиндустрии в строительстве, разработка ресурсосберегающих строительных материалов и изделий с использованием вторичных материальных ресурсов из отходов промышленности [3]. Переработка твердых промышленных и бытовых отходов в полезные для общества изделия и материалы с целью исключения их негативного воздействия на окружающую среду, экономии природного сырья и получения наибольшего экономического эффекта является важнейшей экологической и социальной проблемой всех развитых стран мира. Не случайно в промышленно развитых странах реализуется концепция промышленного метаболизма, основанная на повторном вовлечении отходов в производство [4].

Работа автомобильного транспорта, техногенные продукты и отходы которого являются особенно агрессивными по отношению к окружающей среде, является наиболее опасной. По различным оценкам специалистов, в регионах с развитой транспортной инфраструктурой и населением не менее 1 млн. человек ежегодно образуется свыше 8 кг/чел. изношенных автомобильных шин (страны Европы). В Российской Федерации это количество составляет 5,2 кг/чел., и только в Москве перерабатывается всего лишь 0,08 кг/чел. Средние показатели по России в 2-3 раза ниже, чем в Москве. Сегодня на свалках России хранится около 85 % изношенных шин, из них перерабатывается лишь 15 %. Интенсивное развитие автотранспортного комплекса привело к формированию целого ряда неблагоприятных факторов, нарушающих экологическое равновесие. Основными продуктами загрязнения окружающей природной среды по автотранспортному комплексу являются: изношенные автомобильные шины, электролит, смазочные материалы. Низкая степень переработки обусловлена незаинтересованностью переработчиков в продуктах переработки.

Между тем конструктивный анализ покрышек показывает, что практически все их элементы после переработки могут быть востребованы различными отраслями промышленности в достаточно больших объемах. Несмотря на то, что интерес к утилизации продуктов переработки изношенных автомобильных шин возрастает и активно исследуются различные пути переработки этих отходов, радикального решения проблемы не существует [5, 6]. Одной из главных причин, сдерживающих использование покрышек, является, во-первых, непостоянство состава и свойств этого вида вторичного сырья, что не позволяет при заданных технологических параметрах процесса обеспечить стабильно высокое качество готовой продукции; во-вторых – отсутствие не только совершенной системы их сбора и сортировки, но и промышленных способов переработки изношенных шин. Это в полной мере относится и к Пензенскому региону. В то же время, анализ существующих методов переработки свидетельствует о возможности получения и использования продуктов переработки изношенных шин в качестве вторичных ресурсов. Наиболее эффективным в экономическом и экологическом плане является механическая переработка изношенных автошин, предложенная ОАО «Пензмаш» (г. Пенза). На базе ОАО «Пензмаш» создана линия КПШ-1 по переработке изношенных шин. В основе технологического процесса КПШ-1 лежит фрезерование (рис.2). Преимуществом данной линии перед многими аналогами является

возможность полной переработки покрышек различных габаритных размеров (до 2000 мм) как от легковых, так и грузовых автомобилей. Производительность установки КПШ-1 – 3 т покрышек за смену. В результате образуется резиновая крошка диаметром 1...4 мм, металлокорд и текстиль. Высокая степень использования именно этих продуктов переработки должна явиться экономическим стимулом для широкого применения разрабатываемой установки.

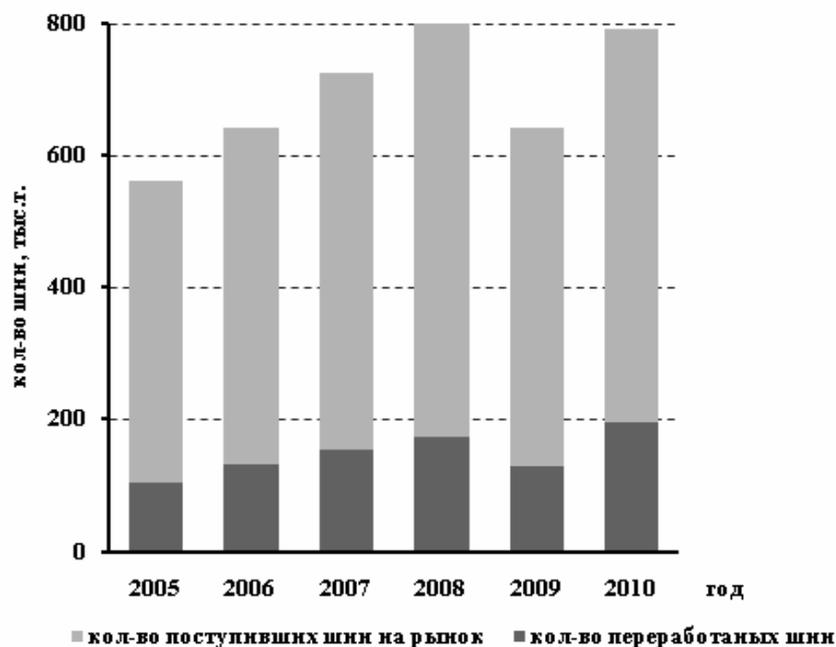


Рис.2. Численность автомобильных шин в России по годам

Анализ рынка крошки показывает растущий интерес в России к этому материалу, о чем свидетельствует значительное количество компаний, заинтересованных в использовании резиновой крошки, например, для изготовления мягкого спортивного инвентаря и обустройства детских площадок.

Резиновая крошка, получаемая на установке КПШ-1 механическим измельчением, имеет «развернутую» (распушенную) структуру и обладает шероховатой поверхностью. Такие частицы отличаются высокой адгезией по отношению как к сырым резинам, так и к большинству полимерных термопластов, что позволяет рекомендовать ее как высококачественный сырьевой материал.

На основе резиновой крошки, в процессе термической обработки и под давлением с использованием клеевых компонентов, возможно получение нового строительного материала, такого, как двухслойная резиновая черепица. Основной слой представлен прессованной резиновой крошкой. В качестве связующего для крошки предлагается полиуретановый сшиватель зарубежного и отечественного производства. Рассматривается возможность применения в качестве связующего продуктов переработки пластика.

Получаемая резиновая черепица представляет собой гибкий и эластичный материал, который режется на изделия требуемых размеров, легко монтируется, что позволяет придать черепице любую заданную форму, обладает высокой вибро- и шумоизоляцией и водонепроницаемостью.

Для придания оригинального вида кровле и повышения прочности сцепления с резиновым слоем по верхнему основанию черепицы возможно устройство гранулированного покрытия (в виде присыпки из измельченных отходов каменных горных пород), повышающего стойкость к действию ультрафиолета. Используемые компоненты экологически безопасны. Заводы-переработчики изношенных автомобильных шин уже сейчас проводят исследования резиновой крошки с целью получения экологического и санитарно-эпидемиологического сертификатов.

Предлагаемая черепица по основным физическим характеристикам незначительно отличается от известных аналогов, а по отдельным показателям превышает их. Стоимость черепицы составляет 150-350 руб./м². А если учесть то, что по свойствам к

ней наиболее близка битумно-полимерная (гибкая) черепица, не производимая в России, но наиболее активно занимающая российский рынок кровельных материалов, то производство резиновой черепицы может составить ей достойную конкуренцию. Решающее значение при этом приобретает ценовой фактор.

В настоящее время совместно с ОАО «Пензмаш» и ООО «Техноком» в ПГУАС создано малое инновационное предприятие ООО «НПП «Экоресурс», основными направлениями деятельности которого являются :

- вывод на рынок высокоэффективного и высококачественного отечественного кровельного материала из продуктов переработки изношенных автомобильных шин;
- создание современного высокотехнологического комплекса, включающего в себя: оборудование по безотходной переработке изношенных автомобильных шин; оборудование по производству высококачественной продукции на основе резиновой крошки; систему организации сбора изношенных автомобильных шин в регионах РФ;
- разработка законопроектов местного уровня для улучшения технологических схем по сбору изношенных автомобильных шин.

Пензенская область может стать инициатором по распространению структурированной системы сбора и утилизации изношенных шин как вторичных материальных ресурсов, включающей в себя пакет законопроектов местного уровня, рекомендаций по организации сбора изношенных шин, их доставки до пунктов переработки, предложений по переработке, стратегии их дальнейшего использования с целью производства новых товаров.

Список литературы

1. Демьянова, В.С. Комплексное использование промышленных отходов / В.С. Демьянова // Экология и промышленность России. – 2008 – январь. – С.12–14.
2. Балзанников, М.И. Экологические аспекты производства строительных материалов из отходов промышленности / М.И. Балзанников, В.П. Петров // Современное состояние и перспективы развития строительного материаловедения: Восьмые академические чтения РААСН. – Самара, 2004. – С. 47–50.
3. Демьянова, В.С. Ресурсосбережение в сфере управления отходами производства и потребления / В.С. Демьянова, А.Д. Гусев // Фундаментальные исследования в Пензенской области. Состояние и перспективы: материалы науч.-практ. конференции. – Пенза, 2010. – С.42–44.
4. Рашевский, Н.Д. Переработка изношенных автомобильных шин с металлокордом / Н.Д. Рашевский, В.С. Кроник [и др.] // Экология и промышленность России. – 2000. – №12. – С. 17–20.
5. Первухина, Е.В. Как склад для изношенных шин превратить в прибыльное предприятие / Е.В. Первухина // Экологический вестник России. – 2010. – №3. – С. 12–14.
6. Попов, И. Взрывной характер / И. Попов // Forbes. – 2007 – июль. – С. 98–101.

References

1. Demyanova, V.S. Complex use of industrial wastes / V.S. Demyanova // Ecology and the industry of Russia. – January 2008. – С.12–14.
2. Balzannikov, M.I. Ecological aspects of manufacture of building materials from industry wastes / M.I. Balzannikov, V.P. Petrov // The Eighth academic readings RAASN. “The current state and prospects of development of building materials technology”. – Samara, 2004. – P. 47–50.
3. Demyanova, V.S. To save up resources in sphere of waste management of manufacture and consumption / V.S. Demjanova, A.D. Gusev // Basic researches in the Penza region: Conditions and prospects/materials of scientific-practical conference. – Penza, 2010. – P.42–44.
4. Rashevsky, N.D. Processing worn automobile tires with metal cord / N.D. Rashevsky, V.S. Kronik [etc.] // Ecology and industry of Russia. – 2000. – № 12. – P. 17–20.
5. Pervuhina, E.V. How to transform a warehouse for worn tires into a profitable enterprise / E.V. Pervuhina // The ecological bulletin of Russia. – 2010. – №3. – P. 12–14.
6. Priests, I. Explosive character / I. Priests // Forbes. – July, 2007. – P. 98–101.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Резник Галина Александровна,
доктор экономических наук, профессор
кафедры «Маркетинг и экономическая теория»
E-mail: miet@pguas.ru

Мальшев Алексей Алексеевич,
старший преподаватель кафедры
«Маркетинг и экономическая теория»
E-mail: miet@pguas.ru

Penza State University of Architecture
and Construction

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

Reznik Galina Aleksandrovna,
Doctor of Economics, Professor of the department
«Marketing and the economic theory»
E-mail: miet@pguas.ru

Malyshev Alexey Alekseevich,
Senior teacher of the department «Marketing
and the economic theory»
E-mail: miet@pguas.ru

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА УСТОЙЧИВОСТИ ЭКОЛОГО- ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Г.А. Резник, А.А. Мальшев

Приведены результаты анализа и оценки потенциала устойчивости эколого-экономической системы (на примере Пензенского региона), выполненных с помощью уточненной методики расчета, на основе которой определена степень устойчивости эколого-экономической системы Пензенского региона.

Ключевые слова: эколого-экономическая система, устойчивость эколого-экономической системы, потенциал устойчивости эколого-экономической системы, управление эколого-экономической системой.

ANALYSIS AND ESTIMATION OF EKOLOGO-ECONOMIC SYSTEM POTENTIAL STABILITY

G.A. Reznik, A.A. Malyshev

Analysis and estimation stability potential of ekologo-economic system on the basis of the revealed factors and indicators of potential stability are considered on the example of the Penza region. The author's design procedure of potential of ekologo-economic system stability on which basis of ekologo-economic system stability of the Penza region is defined is offered.

Keywords: ekologo-economic system, stability of ekologo-economic system, potential of stability ekologo-economic system, management of ekologo-economic system.

Результатом процесса глобализации является возрастание степени неустойчивости эколого-экономических систем разного уровня, что увеличивает частоту возникновения кризисов самого разнообразного происхождения. В 1992 г. на Конференции ООН в серии документов «Повестка дня XXI века» (1992 г.), «О развитии человеческого потенциала» (1994 г.), получивших всеобщее признание на международных встречах высшего уровня, проводится идея о том, что современный мир с его социально-хозяйственными системами и укладами находится в общецивилизационном кризисе, чреватом эколого-экономической катастрофой. Отсюда возникает необходимость перехода к устойчивому развитию эколого-экономической системы, которое ориентировано на сохранение эколого-экономического равновесия, направленного на обеспечение основных социальных параметров.

С подписанием Российской Федерацией Декларации устойчивого развития (1992) решение проблем глобального характера стало задачей и нашей страны. В 1996 г. была принята «Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию», которая определила цели и задачи устойчивого развития страны и регионов [3, с.97]. Однако Концепция не дала четкого определения таких понятий, как «устойчивое

развитие» и «устойчивость», а также критериев и показателей устойчивости. В связи с чем до настоящего времени Государственная стратегия по устойчивому развитию России не разработана.

Устойчивость – это одно из свойств эколого-экономической системы, под которым понимается способность сохранения ее свойств, качественных и количественных характеристик элементов и взаимосвязей при негативном дестабилизирующем влиянии внешней среды. Нарушение устойчивости ведет к нестабильности, деградации и даже разрушению системы. Определение степени устойчивости можно осуществить, применив потенциал устойчивости эколого-экономической системы.

Под потенциалом системы понимаются возможности, способности, скрытые, нереализованные резервы изучаемого объекта, которые при изменении окружающих условий могут перейти из возможности в действительность.

В экономической литературе при определении потенциала имеется целый ряд различных точек зрения. Каждый автор по-своему рассматривает и классифицирует потенциалы системы, изучает их взаимосвязь и взаимообусловленность. При этом выделяют две основные трактовки понятия «эколого-экономический потенциал» – в узком и широком смыслах.

В узком смысле внимание акцентируется на природном потенциале и его эколого-географической составляющей. Так, G. Naase включает в него природные ресурсы и природные условия общественного воспроизводства [1, с.54]. H. Leser, H.-D. Naas, T. Mosimann, R. Paesler определяют природный потенциал как природные ресурсы, включающие все природные вещества, такие, как вода, почвы, биомасса и т.д. [1, с. 55].

Е.В. Рюмина со ссылкой на ряд ведущих ученых Германии рассматривает природный потенциал как интегральное единство частных потенциалов: биотической продуктивности (способность геосистем производить биомассу), минерально-сырьевого, водного, застройки (наличие подходящих условий, проточных вод и грунтового увлажнения, климатических условий для строительства жилья, производственных и других сооружений), против нарушений, утилизации отходов (самоочищения), биотической регуляции (способность сохранять генофонд и устойчивость биоты) [3, с. 30].

Представляется, что понятие «потенциал устойчивости» должно базироваться на принципах устойчивого развития, основная идея которого в данном аспекте заключается в приведении потребностей человечества в соответствие с возможностями окружающей среды. Конечной целью такого развития является динамическое равновесие между человеком и окружающей средой, которое и обеспечит достаточную и необходимую устойчивость всей эколого-экономической системы.

Устойчивость эколого-экономической системы следует рассматривать как интегральный показатель, отражающий взаимосвязь и взаимозависимость входящих в нее подсистем.

1. Под потенциалом устойчивости экологической подсистемы понимается предельная возможность окружающей природной среды обеспечивать хозяйственную деятельность человека, направленную на удовлетворение его природно-ресурсных и материально-духовных потребностей, при сохранении состояния своего равновесия.

2. Потенциал устойчивости социальной подсистемы – это степень способности общества предоставить необходимые общественные ресурсы для удовлетворения собственных материально-духовных нужд, а также для охраны окружающей природной среды при сохранении баланса своего развития.

3. Потенциал устойчивости экономической подсистемы можно определить как способность хозяйствующих субъектов обеспечить удовлетворение материально-духовных нужд общества путем сохранения экономического баланса, развития производства при наименьшем уровне воздействия на окружающую природную среду, в том числе при использовании и вовлечении в хозяйственную деятельность природных ресурсов.

4. Потенциал устойчивости институциональной подсистемы – это предельно возможная эффективность деятельности управляющих организаций в рамках сложившегося правового и законодательного поля по побуждению экономических агентов и общественных элементов к природоохранной деятельности.

Таким образом, потенциалы устойчивости каждой из подсистем отражают максимально возможную степень эффективности функционирования компонентов эколого-экономической системы при сохранении экологического равновесия.

Следовательно, потенциал устойчивости эколого-экономической системы определяется как взаимосвязанная совокупность экономического, социального, экологического, институционального потенциалов подсистем, как степень и способность этих подсистем обеспечивать сбалансированное, устойчивое развитие эколого-экономической системы на текущий момент.

Анализ устойчивости эколого-экономической системы осуществлялся на основе системы показателей, характеризующих устойчивость функционирования каждой из выделенных подсистем: экологической, экономической, социальной и институциональной. В табл. 1 представлена динамика показателей, отражающих состояние эколого-экономической системы Пензенского региона за период 2005–2010 гг.

Т а б л и ц а 1

Анализ устойчивости эколого-экономической системы Пензенского региона

Подсистема	Анализируемые показатели подсистем								Ед. измер.	
	Группа показателей	показатели	Годы							
			2005	2006	2007	2008	2009	2010		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Экологическая подсистема	Уровень загрязнения окружающей среды	Выбросы в атмосферу в расчете на одного жителя	17	19	19	21	16	16,4	т/чел.	
		Темпы прироста/убыли выбросов в атмосферу в расчете на одного жителя	-35	10,54	0	9,5	-31,25	0	%	
		Сброс загрязненных вод в расчете на одного жителя	98,72	98,13	92,22	89,86	84,49	80,1	л/чел.	
		Темпы прироста/убыли сбросов загрязненных вод в расчете на одного жителя	-4,6	-0,6	-6,4	-6,2	-6,3	-5,4	%	
	Степень развития утилизации и обезвреживания отходов производства и потребления	Уловлено и обезврежено веществ, сбрасываемых в атм. воздух	38	42	45	34	41	41	тыс. т	
		Темпы прироста/убыли уловленных и обезвреженных веществ, сбрасываемых в атм. воздух	-5,2	9,5	6,7	-32,4	17,01	0	%	
		Оборотная и последовательно используемая вода	75	77	84	84	81	81	млн м ³	
		Темпы прироста/убыли оборотной и последовательно используемой воды	-2,7	2,6	8,3	0	-3,7	0		
Экономическая подсистема	Уровень экономического развития региона	Объем ВРП	77363	88805	119905	145127	137870	148899,6	млн руб. к 1995 г.	
		Темпы прироста ВРП	22,82	12,88	25,94	17,38	5	8	%	
		Отраслевая структура	Промышленность	28,2	28,2	26	25,9	29,6	26	%
			Сельское хозяйство	12,3	12,3	14,1	12,2	10,4	13	%
			Сфера услуг	59,5	59,5	59,9	61,9	60	61	%
		Отраслевая структура ВРП промышленности региона	Добывающие отрасли	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	%
			Обработывающие отрасли	80,5	78	78	85	84	84	%
			Производство и распр. электроэнергии, газа, воды	18,8	21,2	21,2	14,4	15,5	15,5	%
		Объем производства сельскохозяйственной продукции	14740	15988	18294	22491	31869	38243	млн руб.	
		Темпы прироста/убыли объема производства сельскохозяйственной продукции	6	7,8	12,6	18,7	29,4	20	%	
		Доля импорта продовольствия в общем объеме внешнеторгового оборота	40,04	53,86	52,9	60,38	35,76	40,1	%	
Уровень инфляции	111,3	110,1	113,9	115,2	108,2	104,7	% к предыдущ. году			
Темпы прироста/убыли инфляции	11,3	10,1	13,9	15,2	8,2	4,7	%			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Финансирование социально значимой деятельности государства	Доходы бюджета региона		40254	47514	73789	94079	102889	102896	млн руб.
	Темпы прироста/убыли доходов бюджета региона		–	15,3	35,6	21,6	8,6	6,6	%
	Доля затрат на здравоохранение		7	8,8	12,5	6,3	4,6	5,3	%
	Доля затрат на охрану окружающей среды		6	5,2	5,6	–	3,2	3,2	%
	Доля сырьевых ресурсов (нефть, газ, лес, строит. материалы)		–	24,3	25,4	23,1	25,8	26,2	%
	Расход основных природно-сырьевых ресурсов на душу населения в регионе		–	11983	13826	17106	22380	27661,4	руб./чел
	Темпы прироста/убыли расхода основных природно-сырьевых ресурсов на душу населения в регионе		–		13,3	19,2	23,6	24	%
Социальная подсистема	Качество и уровень жизни населения	Продолжительность жизни населения	65,5	67,25	68,3	68,67	69,38	69,4	лет
		Темпы прироста/убыли продолжительности жизни населения	–	2,6	1,5	0,5	1,0	0,3	%
		ВРП на душу населения	52540	63343	85563,1	105836	109587	1010032,3	руб./чел.
		Темпы прироста/убыли ВРП на душу населения	–	17,1	26,0	19,2	3,4	4,5	%
	Санитарно-эпидемиологическая обстановка	Уровень безработицы	11	9,8	6,8	6,8	7,9	10,2	тыс. чел.
		Темпы прироста/убыли уровня безработицы	–	–12,2	–44,1	0,0	13,9	2,3	%
		Уровень заболеваемости	850,5	840,4	817,4	792,2	794,7	786,8	тыс. чел.
		Темпы прироста/убыли заболеваемости населения	–	–1,2	–2,8	–3,2	0,3	–1	%

П р и м е ч а н и е . Статистические данные были взяты из следующих сборников:

1. Основные показатели охраны окружающей среды Пензенской области: стат. бюл. – Пенза, 2005–2010.
2. Регионы России: Социально-экономические показатели: стат. сб. / Росстат. – М., 2004–2010.

Об устойчивости экологической подсистемы можно судить по динамике отклонений фактических показателей загрязнения воздушного и водного бассейнов от нормативных значений. Их анализ свидетельствует о некотором снижении уровня загрязнения атмосферного воздуха с 0,021 т/чел. в 2008 г. до 0,016 т/чел. в 2009 г. и водного бассейна с 89,86 л/чел. в 2008 г. до 84,49 л/чел. в 2009 г., что в значительной степени связано с кризисными явлениями в экономике Пензенского региона в 2009 г.

Динамика показателей устойчивости экономической подсистемы Пензенской области указывает на высокую степень использования сырьевых ресурсов и слабое финансирование природоохранных мероприятий. Индустриально-аграрный характер региона требует высокой степени использования природно-сырьевых ресурсов для своего развития. Негативные глобальные и региональные процессы последних лет (такие, как мировой финансовый кризис и связанное с ним сокращение инвестиций) вызвали значительное падение объемов производства, что сократило бюджет региона. Эти явления привели к усилению антропогенной нагрузки на окружающую среду, повлияв на всю эколого-экономическую систему.

Институциональная подсистема в имеющихся условиях законодательного и правового поля осуществляет свои функции в полном объеме. За период 2005–2010 гг. объем предотвращенного ущерба увеличился в пределах 15–57 %, что связано с усилением мониторинга и выявлением правонарушений в области природоохранного законодательства.

Объем нанесенного ущерба окружающей среде за рассматриваемый период также снизился с 335,2 млн руб. в 2005 г. до 280 млн руб. в 2010 г. Минимальное его значение (128 млн руб.) было отмечено в 2006 г. Стоит обратить внимание на падение эффективности функционирования институциональной подсистемы в области сти-

мулирования предприятий по отчислению средств на природоохранные мероприятия. Таким образом, показатель уменьшился в 2 раза – с 69,7 млн руб. в 2005 г. до 37,1 млн руб. в 2010 г., что свидетельствует о снижении влияния институтов эколого-экономической системы на природоохранную деятельность предприятий.

Замедленные темпы экономического развития, а также обострение экологической обстановки снижают распространение положительных тенденций, наметившихся в социальной сфере (см. табл. 1). ВВП на душу населения изменялся следующим образом: с 2005 по 2010 гг. рос на 17, 27, 19, 3,2 и 4,5 % соответственно и в 2005 г. составлял 5240 руб./чел., а в 2010 г. – 110032,3 руб./чел., т.е. увеличился более чем в 2 раза. Снижение темпов роста ВРП на душу населения в 2008 г. и 2009 г. объясняется кризисными явлениями в экономике области. Отклонение показателей потенциала устойчивости эколого-экономической системы от нормативных показателей характеризует степень её устойчивости (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Классификация показателей оценки состояния потенциала устойчивости
эколого-экономической системы

Критерии устойчивости эколого-экономической системы		Анализируемые показатели подсистем		
		показатели		Блок
1	2	3	4	5
Экологи- ческая подсистема	Уровень загряз- нения окружаю- щей среды	Динамика уровня загрязнения окру- жающей среды в расчете на одного жителя	Темпы прироста выбро- сов в атмосферу в рас- чете на одного жителя	ЭБ1,1
			Темпы прироста сброса загрязненных вод в расчете на одного жителя	ЭБ1,2
	Степень разви- тия утилиза- ции и обезвре- живания отходов производства и потребления	Уловлено и обезвре- жено загрязняющих веществ на очист- ных сооружениях	Темпы прироста уло- вленных и обезврежен- ных веществ, сбрасы- ваемых в атм. воздух	ЭБ2,1
			Темпы прироста обо- ротной и последователь- но используемой вода	ЭБ2,2
Экономи- ческая подсистема	Уровень экономического развития региона	Темпы прироста ВРП		ЭкБ1,1
		Отраслевая структура	Промышленность	ЭкБ1,2,1
			Сельское хозяйство	ЭкБ1,2,2
		Отраслевая струк- тура ВРП промыш- ленности региона	Темпы изменения объема обрабатываю- щей отрасли в струк- туре ВРП региона	ЭкБ1,3,1
		Темпы изменения динамики объема про- изводства сельскохозяйственной продукции		ЭкБ1,4,1
	Уровень инфляции		ЭкБ1,5,1	
	Финансирование социально зна- чимой деятельно- сти государства	Доля затрат на здравоохранение		ЭкБ2,1
		Доля затрат на охрану окружающей среды		ЭкБ2,2
	Использование сырьевых ресурсов	Доля сырьевых ресурсов (нефть, газ, лес, строит. материалы)		ЭкБ3,1
		Динамика расхода основных природно- сырьевых ресурсов на душу населения в регионе		ЭкБ3,2

1	2	3	4	5
Социальная подсистема	Качество и уровень жизни населения	Темпы прироста продолжительности жизни населения		СБ1,1
		Темпы прироста ВРП на душу населения		СБ1,2
		Темпы прироста уровня безработицы		СБ1,3
	Санитарно-эпидемиологическая обстановка	Темпы прироста уровня заболеваемости населения		СБ2,1
Институциональная подсистема	Экологические институты региона	Темпы изменения расходов на проведение мероприятий по сохранению окружающей среды		ИБ1,1
	Особенности управления охранной окружающей среды на предприятиях региона	Темпы изменения объемов доходов предприятий		ИБ2,1
		Темпы изменения прироста предотвращенный ущерб		ИБ2,2
		Темпы изменения прироста нанесенный ущерб		ИБ2,3

Расчет оценки потенциала устойчивости эколого-экономической системы был выполнен на основе методики, которая была предложена Ю.А. Рыжковой [2, с. 103], а затем дополнена и уточнена. Для расчета устойчивости подсистемы используется индексный метод, при котором для каждой подсистемы вычисляется потенциал её устойчивости:

- индекс потенциала устойчивости экологической подсистемы:

$$Ind_{ЭП} = \frac{ЭБ2,1}{ЭБ1,1} + \frac{ЭБ2,2}{ЭБ1,2}; \quad (1)$$

- индекс потенциала устойчивости экономической подсистемы:

$$Ind_{ЭкП} = \frac{ЭкБ1,5,1}{ЭкБ1,1} + \frac{ЭкБ1,2,2}{ЭкБ1,4,1} + \frac{ЭкБ1,2,1}{ЭкБ1,3,1} + \frac{ЭкБ2,1 + ЭкБ2,2}{20} + \frac{ЭкБ3,2}{ЭкБ3,1}; \quad (2)$$

- индекс потенциала устойчивости социальной подсистемы:

$$Ind_{СП} = \frac{СБ2,1}{СБ1,1} + \frac{СБ1,3}{СБ1,2}; \quad (3)$$

- индекс потенциала устойчивости институциональной подсистемы:

$$Ind_{ИП} = \frac{ИБ1,1}{ИБ2,1} + \frac{ИБ2,3}{ИБ2,2}. \quad (4)$$

Если $Ind \in (-\infty; 0]$, то подсистема восстанавливается; если $Ind \in (0; 1]$, то подсистема устойчива; если $Ind \in (1; \infty)$, то подсистема неустойчива. Таким образом, значение индексов устойчивости компонентов структуры эколого-экономической системы характеризует степень их устойчивости.

Получаем систему показателей расчета индекса потенциала устойчивости эколого-экономической системы, который производится путем нахождения среднего арифметического индексов экологической, экономической, социальной и институциональной подсистем:

$$Ind_s = \frac{\sum_{i=1}^4 Ind_{ЭП} Ind_{ЭкП} Ind_{СП} Ind_{ИП}}{4}. \quad (5)$$

Значение индекса потенциала устойчивости эколого-экономической подсистемы показывает степень устойчивости эколого-экономической системы.

С помощью формулы (5) был рассчитан индекс потенциала устойчивости эколого-экономической системы Пензенского региона (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Индекс потенциала устойчивости эколого-экономической системы
Пензенской области и её подсистем

Индекс	Годы						Средний арифметический индекс потенциала за период
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
Индекс потенциала устойчивости экологической подсистемы	0,74	-3,43	-1,30	-3,41	0,04	0	-1,23
Индекс потенциала устойчивости экономической подсистемы	1,23	1,21	3,30	8,09	0,88	2,25	2,83
Индекс потенциала устойчивости социальной подсистемы	0,54	-1,17	-3,56	-6,40	4,39	-2,8	-1,5
Потенциал устойчивости институциональной подсистемы	0,93	0,78	0,16	-1,27	-0,25	0,39	0,12
Индекс потенциала устойчивости эколого-экономической системы	0,85	-0,65	-1,4	-0,74	1,27	-0,04	-0,12

В период с 2005 г. по 2010 г. индекс потенциала устойчивости экологической подсистемы Пензенского региона изменялся от отрицательных значений до положительных, но составлял менее единицы. Это означает, что экологическая подсистема была устойчивой и восстанавливалась (-3,43; -1,3 и -3,41 соответственно). Среднее арифметическое индекса потенциала устойчивости экологической подсистемы за рассматриваемый период составило -1,23, что говорит о восстановлении экологической подсистемы в целом.

Индекс потенциала устойчивости экономической подсистемы имеет преимущественно положительные значения, близкие к единице, что говорит об относительной неустойчивости развития экономической подсистемы. В 2008 г. в связи с последствиями мирового финансового кризиса экономическая подсистема Пензенской области испытала наибольшую неустойчивость ($Ind_{ЭкИ2008} = 8,09$). Средний арифметический индекс потенциала устойчивости экономической подсистемы за период 2005-2010 гг. равнялся 2,83, что говорит о неустойчивости экономической подсистемы в целом.

Социальная подсистема за период 2005-2010 гг. восстанавливалась ($Ind_{СП} = -1,5$). Однако следует отметить, что в связи с экономической нестабильностью в 2008 г. усилилась неустойчивость социальной подсистемы, в 2009 г. данная тенденция сохранилась ($Ind_{СП2009} = 4,39$), но уже в 2010 г. индекс потенциала устойчивости упал до 0,39.

Устойчивое развитие институциональной подсистемы подтверждается вычислением индекса потенциала устойчивости за период 2005-2010 гг., который равен 0,12. Эта устойчивость обусловлена успешным осуществлением контрольных её функций. За весь период исследования индекс был близок к этому значению, исключая 2008 г., когда он составил -1,27 из-за снижения объема доходов предприятий.

Вывод. Индекс потенциала устойчивости за анализируемый период имел преимущественно отрицательные значения (-0,65 в 2006 г., -1,4 в 2007 г. и -0,74 в 2008 г.), однако в 2005 г. он составил 0,85, в 2009 г. – 1,27, а в 2010 г. вновь снизился до -0,04, что говорит о значительных колебаниях устойчивости системы. Средний арифметический индекс

потенциала устойчивости в период 2005–2010 гг. составил -0,12, что свидетельствует о недостаточной степени устойчивости эколого-экономической системы в рассматриваемый период.

Список литературы

1. Leser, H. *Geographie der Freizeit und des Tourismus*. In: *Geographie*, edited by H. Leser, H.D. Haas, S. Meier, T. Mosimann, R. Paesler & J. Huber-Fröhli (München, Braunschweig), 2005. – 1119 p.
2. Рыжкова, Ю.А. Потенциал устойчивости экологизированной социально-экономической системы: системно-методический анализ: монография / Ю.А. Рыжкова. – Пенза, 2009.
3. Рюмина, Е.В. Анализ эколого-экономических взаимодействий / Е.В. Рюмина. – М.: Наука, 2000. – 160 с.

References

1. Leser, H. *Geographie der Freizeit und des Tourismus*. In: *Geographie*, edited by H. Leser, H.D. Haas, S. Meier, T. Mosimann, R. Paesler & J. Huber-Fröhli (München, Braunschweig), 2005. – 1119 p.
2. Rygkova, Ju.A. Potential of stability ecological social and economic system: the system-methodical analysis: Monography / Ju.A. Rygkova. – Penza, 2009.
3. Ryumin, E.V. *Analys of ecologo-economic interactions* / E.V. Ryumin. – M: Science, 2000. – 160 p.