

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

Выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель

Пензенский государственный
университет архитектуры
и строительства

Главная редакция:

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

Адрес редакции:

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

Редакторы: М.А. Сухова
Н.Ю. Шалимова

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 10.03.2017.
Формат 60х84 1/8.
Уч.-изд.л. 24.75. Тираж 500 экз. Первый завод 100.
Заказ № 349.

Отпечатано в издательстве ПГУАС

**РЕГИОНАЛЬНАЯ
АРХИТЕКТУРА
И СТРОИТЕЛЬСТВО**
1(30)/2017

Содержание

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ИЗДЕЛИЯ 5**

Белякова Е.А., Москвин Р.Н., Тараканов О.В.
ЦЕМЕНТ НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ-УНОСА ДЛЯ
СОВРЕМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 5

Гаврилов М.А., Ерофеев В.Т., Худяков В.А.
УДАРНАЯ ПРОЧНОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ
КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ
ПРОИЗВОДСТВА..... 12

Селяев В.П., Куприяшкина Л.И., Седова А.А.,
Селяев П.В., Колотушкин А.В.
ХИМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ
ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЕЙСТВИЮ
ВОДНЫХ РАСТВОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ
ИОНЫ ХЛОРА..... 17

Береговой В.А., Егунов Д. А.
СТРОИТЕЛЬНАЯ ДРЕВЕСИНА: ПАРАМЕТРЫ
МОДИФИЦИРОВАНИЯ И СВОЙСТВА 25

Логанина В.И., Фролов М.В., Рябов М.А.
ОЦЕНКА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ
НА ОСНОВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО
СОСТАВА ДЛЯ ОТДЕЛКИ ГАЗОБЕТОНА 30

Данилов А.М., Гарькина И.А.
АНАЛИЗ ИЕРАРХИЙ В СИНТЕЗЕ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 36

Данилов А.М., Гарькина И.А.
СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ:
КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ,
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ 42

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ
И СООРУЖЕНИЯ 47

Гучкин И.С., Шишкин С.О., Ласьков Н.Н.
ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ УСИЛЕНИЯ И
РЕГУЛИРОВАНИЯ ОСАДКИ ФУНДАМЕНТОВ
КОЛОНН КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ 47

Бакушев С.В.
СФЕРИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧНЫЕ УДАРНЫЕ
ВОЛНЫ В СПЛОШНЫХ СРЕДАХ 53

© Авторы публикаций, 2017
© Е.Г. Лапшина, дизайн обложки, 2017
© ПГУАС, 2017

Береговой А.М., Береговой В.А., Викторова О.Л. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА И ВОЗДУХООБМЕНА В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ И ЗДАНИЯХ СОВРЕМЕННОГО ТИПА.....	69	Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Князев В.А., Давыдов Г.П. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ТРУБЧАТОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СМЕСИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА.....	124
Береговой А.М., Береговой В.А., Викторова О.Л. ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ЭНЕРГОАКТИВНОЙ СТЕНЫ В СИСТЕМЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ И ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ.....	74	Гришин Б.М., Бикунцова М.В., Шейн А.И., Титов Е.А. ПЕРВИЧНОЕ ОТСТАИВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАБОТАННЫХ В ПРЕАЭРАТОРЕ С ЗАТОПЛЕННОЙ ЗАГРУЗКОЙ.....	132
Мигунов В.Н., Шамшина К.В. ЖЁСТКОСТЬ И КРИВИЗНА ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЖИДКОЙ ХЛОРИДСОДЕРЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ (РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ).....	78	Гришин Б.М., Бикунцова М.В., Ласьков Н.Н., Шейн А.И. КИНЕТИКА КОАГУЛЯЦИИ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРУПНОЗЕРНИСТОЙ КОНТАКТНОЙ ЗАГРУЗКИ.....	138
Болдырев С.А., Гарькин И.Н., Медведева Л.М. АДАПТАЦИЯ СТУДЕНТОВ В СТРОИТЕЛЬНОМ ВУЗЕ: СОЦИОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ.....	84	Кузина В.В., Кошев А.Н., Кошев Н.А. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИ РЕШЕНИИ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОНЦЕНТРАЦИЙ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ.....	145
Снежкина О.В., Киселев А.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН В КОРОТКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ.....	90	Королева Т.И., Аржаева Н.В., Тараканов О.В., Иващенко Н.Ю. ИЗ ОПЫТА РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОТЛОВ НА ОТРАБОТАННОМ МАСЛЕ.....	151
Кузин Н.Я., Ежова Н.А. САМОРЕГУЛИРУЕМЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ.....	95	Королева Т.И., Аржаева Н.В., Степанов С.А., Иващенко Н.Ю., Чапаева С.И. ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ УВЯЗКА ДВУХ-ТРУБНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ.....	159
Акимова И.В., Титова Е.И. ИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЗАДАЧ С ЦЕЛЬЮ УСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТАМИ, ОБУЧАЮЩИМИСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ «СТРОИТЕЛЬСТВО».....	99	АРХИТЕКТУРА.....	165
Кочеткова М.В. РАСЧЁТНЫЕ МОДЕЛИ РОСТВЕРКОВ ПОД КОЛОННЫ.....	106	Монастырская М.Е. РЕГИОНАЛЬНАЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ИДЕНТИЧНОСТЬ КАК ОСНОВА «ПАРАДИГМАЛЬНОЙ» ИНТЕГРАЦИИ В ГРАДООБРАЗОВАНИИ.....	165
Солманидина Н.В., Гринцова О.В., Гринцов Д.М. УСТНАЯ РЕЧЬ КАК ВАЖНЕЙШИЙ КОМПОНЕНТ КОММУНИКАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ.....	113	Кокшаров А.С. ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ТОРГОВОГО ПРОСТРАНСТВА КИНЕШМЫ XVIII–НАЧАЛА XX ВВ.....	173
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ.....	118	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ.....	178
Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Шейн А.И., Князев В.А. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАВНОВЕСНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ИЗВЛЕКАЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ.....	118	Резник Г.А. МАРКЕТИНГ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ: РЕАЛИИ ВРЕМЕНИ.....	178
		Учасева Т.В. ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОРОТНОГО КАПИТАЛА КАК ФАКТОР УЛУЧШЕНИЯ ФИНАНСОВО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	185
		Смирнова Ю.О., Кулаков К.Ю. АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ НАКОПЛЕНИЯ СРЕДСТВ НА РЕАЛИЗАЦИЮ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА.....	192

Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS.....	5	Beregovoy A.M., Beregovoy V.A., Victorova O.L. HEAT ACCUMULATION PROPERTIES OF THE ENERGY ACTIVE WALL IN THE SYSTEM OF NATURAL VENTILATION AND HEATING OF THE BUILDING.....	74
Belyakova E.A., Moskvina R.N., Tarakanov O.V. CEMENT ON FLY ASH FOR MODERN BUILDING TECHNOLOGIES	5	Migunov V.N., Shamshina K.V. THE RIGIDITY AND CURVATURE OF FLEXIBLE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN LIQUID CHLORIDE-CONTAINING ENVIRONMENT (THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES).....	78
Gavrilov M.A., Erofeev V.T., Hudjakov V.A. IMPACT STRENGTH OF EPOXY COMPOSITES ON INDUSTRIAL WASTE ..	12	Boldirev S.A., Garkin I.N., Medvedeva L.M. ADAPTATION OF STUDENTS IN BUILDING HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENT: SOCIOLOGICAL ASPECTS	84
Selyaev V.P., Kupriyashkina L.I., Sedova A.A., Selyaev P.V., Kolotushkin A.V. CHEMICAL RESISTANCE OF CEMENT COMPOSITES TO AQUEOUS SOLUTIONS CONTAINING IONS OF CHLORINE	17	Snezhkina O.V., Kiselev A.A. DETERMINING THE WIDTH OF CRACKS IN SHORT REINFORCED CONCRETE BEAM.....	90
Beregovoi V.A., Egunov D.A. CONSTRUCTION WOOD: MODIFYING PARAMETERS AND PROPERTIES	25	Kuzin N.Y., Ezhova N.A. SELF-REGULATED ORGANIZATION IN CONSTRUCTION (STATE AND PROSPECTS).....	95
Loganina V.I., Frolov M.V., Ryabov M.A. EVALUATION OF FRACTURE TOUGHNESS OF HEAT-INSULATING COATINGS FOR AERATED CONCRETE FINISHING	30	Akimova I.V., Titova E.I. THE USE OF ICT FOR THE SOLUTION OF PROFESSIONALLY-ORIENTED TASKS BY THE STUDENTS OF BUILDING PROFILE	99
Danilov A.M., Garkina I.A. ANALYSIS OF HIERARCHIES IN THE SYNTHESIS OF BUILDING MATERIALS ..	36	Kochetkova M.V. CALCULATED MODEL OF RAFT FOUNDATIONS FOR COLUMNS.....	106
Danilov A.M., Garkina I.A. CONSTRUCTION MATERIALS SCIENCE: COMPLEX RESEARCHES, SYSTEM ANALYSIS.....	42	Solmanidina N.V., Grintsova O.V., Grintsov D.M. SPEAKING AS AN IMPORTANT COMPONENT OF COMMUNICATIVE FOREIGN LANGUAGE TEACHING AT TECHNICAL UNIVERSITY	113
BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS.....	47	ENGINEERING SYSTEMS.....	118
Guchkin I.S., Shishkin S.O., Laskov N.N. EFFECTIVE WAYS OF STRENGTHENING AND REGULATION OF SEDIMENT OF FRAME BUILDINGS COLUMNS FOUNDATIONS	47	Andreev S.Yu., Garkina I.A., Shein A.I., Knyazev V.A. MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE EQUILIBRIUM CONCENTRATIONS OF EXTRACTS DURING SORPTION OF PURIFICATION POLLUTANTS	118
Bakushev S.V. SPHERICALLY-SYMMETRIC SHOCK WAVES IN CONTINUOUS MEDIUM.....	53	Andreev S.Yu., Garkina I.A., Knyazev V.A., Davydov G.P.	
Beregovoy A.M., Beregovoy V.A., Victorova O.L. REGULATION THE PROCESSES OF HEAT AND MASS TRANSFER AND AIR EXCHANGE IN EXTERNAL ENCLOSURE STRUCTURES AND MODERN TYPE BUILDINGS	69	MATHEMATICAL MODELLING OF TUBULAR HYDRODYNAMIC MIXING DEVICE OPERATION	124

Grishin B.M., Bikunova M.V., Shein A.I., Titov E.A. PRIMARY SETTLING OF WASTE WATER PRELIMINARY TREATED IN PREAERATOR WITH FLOODED LOAD 132	ARCHITECTURE 165
Grishin B.M., Bikunova M.V., Laskov N.N., Shein A.I. KINETICS OF WATER IMPURITIES COAGULATION USING COARSE GRAIN CONTACT BED..... 138	Monastyrskaya M.E. REGIONAL URBAN PLANNING IDENTITY AS THE BASIS OF PARADIGM INTE- GRATION IN URBAN FORMATION 165
Kuzina V.V., Koshev A.N., Koshev N.A. COMPUTATIONAL EXPERIMENT WHILE SOLVING THE INVERSE PROBLEMS TO DETERMINE THE CONCENTRATIONS OF METALS IN AQUEOUS ELECTROLYTE SOLUTIONS 145	Koksharov A.S. TOWN-PLANNING FORMATION OF TRADE SPACE IN KINESHMA IN XVIII–EARLY XX CENTURY 173
Koroleva T.I., Arzhaeva N.V., Tharakanov O.V., Ivashchenko N.U. FROM THE EXPERIENCE OF RECONSTRUCTION OF INDUSTRIAL HEAT TRANSFER INSTALLATION USING BOILERS ON WASTE OIL..... 151	ECONOMICS AND MANAGEMENT.. 178
Koroleva T.I., Arzhaeva N.V., Stepanov S.A., Ivashchenko N.U., Chapaeva S.I. HYDRAULIC LINKAGE OF TWO-PIPE HEATING SYSTEMS..... 159	Reznik G.A. MARKETING OF INTERACTION IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY: TIME REALITIES 178
	Uchaeva T.V. EFFECTIVE USE OF WORKING CAPITAL AS A FACTOR OF IMPROVEMENT OF FINANCIAL AND ECONOMIC OPERATIONS OF BUILDING MATERIALS INDUSTRY 185
	Smirnova Yu.O., Kulakov K.Y. ANALYSIS OF MODELS OF ACCUMULATION OF FUNDS FOR REALIZATION OF CAPITAL REPAIRS 192

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

*Памяти учителя
Владимира Ивановича Калашникова*

УДК 666.944.21:666.972

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

Белякова Елена Александровна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Кадастр недвижимости и право»
E-mail: var_lena@mail.ru

Москвин Роман Николаевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Эксплуатация автомобильного
транспорта»
E-mail: moskva_in@mail.ru

Тараканов Олег Вячеславович,
доктор технических наук, профессор,
декан факультета «Управление
территориями»
E-mail: zigk@pguas.ru

*Penza State University of Architecture and
Construction*

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

Belyakova Elena Aleksandrovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
department «Real estate cadastre and right»
E-mail: var_lena@mail.ru

Moskvin Roman Nikolaevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Operation of Road
Transport»
E-mail: moskva_in@mail.ru

Tarakanov Oleg Vyacheslavovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Decan of faculty «Management of territories»
E-mail: zigk@pguas.ru

ЦЕМЕНТ НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ-УНОСА ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Е.А. Белякова, Р.Н. Москвин, О.В. Тараканов

Показана возможность создания композиционных цементов на основе высокотоннажных отходов предприятий теплоэнергетики (реологически- и реакционно-активных зол-уноса, самостоятельно твердеющих с водой) для производства уникальных по дизайну и физико-механическим свойствам бетонных изделий и конструкций с помощью строительных 3D-принтеров без использования опалубки.

Ключевые слова: строительный 3D-принтер, зола-унос, композиционный цемент, прочность

CEMENT ON FLY ASH FOR MODERN BUILDING TECHNOLOGIES

Е.А. Belyakova, R.N. Moskvina, O.V. Tarakanov

The possibility of creating composite cements on high-tonnage wastes of thermal power plants (reological and reactive fly ash self-curing with water) for the production of unique in design and physical and mechanical properties of concrete products and structures by constructional 3D-printers without using of formwork is shown.

Keywords: constructional 3D-printer, fly ash, cement composite, strength

В современном строительном деле широко используются инновационные технологии как в области материаловедения, так и в технологии изготовления материалов и конструкций для возведения зданий и сооружений. В различных отраслях промышленности (автомобилестроение, машиностроение, домостроение и др.) расширяется применение средств автоматизации, в том числе и роботизации. Одной из таких инновационных технологий является использование строительных 3D-принтеров.

Сегодня 3D-печать получила широкое распространение в машиностроении, медицине, искусстве и других отраслях. За достаточно короткий промежуток времени, прошедший с момента появления первых 3D-принтеров, люди научились печатать посуду, одежду, игрушки, детали для машин и машины в целом и даже человеческие ткани и органы. В строительной отрасли 3D-печать также нашла свое применение при производстве не только отдельных строительных конструкций, но и зданий и сооружений целиком.

Как известно, строительные 3D-принтеры в своей работе используют технологию экструдирования, при которой каждый новый слой строительного материала выдвигается из экструдера поверх предыдущего. Такая 3D-печать позволяет получить уникальные бетонные изделия без опалубки, при этом существенно сокращаются затраты живого труда и времени строительства объекта.

Так как новая технология в отличие от всех существующих является безопалубочной, то эффективность ее применения будет прежде всего предопределяться свойствами используемой бетонной смеси. Соответственно ее характеристики должны существенно отличаться от свойств традиционных смесей, изделия из которых формуются в жесткой опалубке. При этом многие характеристики бетонных смесей для строительных 3D-принтеров являются противоречивыми. Так, бетонная смесь должна обладать как высокой пластической прочностью, т.е. держать форму после экструзии, так и высокой подвижностью для снижения энергетических затрат на перемешивание и подачу приготовленной бетонной смеси в экструдер, а также высокой адгезией для соединения отдельных слоев. Это может быть достигнуто, по аналогии с формированием кирпича-сырца из глиняной массы, пластическим способом, посредством получения высокопластичной бетонной смеси с тонкой гранулометрической структурой за счет большого содержания высокодисперсных минеральных порошков. Очевидно, для строительных 3D-принтеров целесообразнее использовать порошковые и порошково-активированные песчаные бетонные смеси, модифицированные различными добавками с целью получения требуемых качеств. Бетонная смесь должна обладать ускоренным структурообразованием, т.е. быстрым переходом из пластичного состояния в затвердевшее с достижением необходимой прочности, способной выдержать вес верхних слоев в процессе 3D-формования.

Отличительной особенностью бетонов нового поколения является значительное содержание порошкообразных материалов из плотных горных пород и тонкозернистых природных или дробленых песков фракций 0-0,5 мм (0,16-0,63 мм). Дисперсные порошки микрометрического размерного уровня с удельной поверхностью $S_{уд}=300-400 \text{ м}^2/\text{кг}$, содержание в бетонах которых достигает 40-120 % от массы цемента, способствуют образованию в бетонной смеси значительного объема агрегативно-устойчивой, высококонцентрированной суспензии (30-60 % от объема бетонной смеси) и обеспечивают однородную структуру, саморастекание и самоуплотнение смесей под действием современных суперпластификаторов.

На основе разработанных профессором В.И. Калашниковым [1] порошковых и тонкозернистых бетонов нового поколения возможно создание бетонных смесей, максимально удовлетворяющих требованиям по гранулометрическому составу, для использования их в строительных 3D-принтерах. С учетом особенностей новой технологии для повышения пластической прочности, адгезии и ускорения раннего структурообразования такие бетоны должны быть модифицированы специальными добавками.

Экономически целесообразно создавать вяжущее для новой технологии, взяв за основу бездобавочные портландцементы (соответствующие типу ЦЕМ I и классу по

прочности не менее 42,5 по ГОСТ 31108-2003 «Цементы общестроительные. Технические условия») с введением минеральных и химических добавок.

Современная индустрия строительных материалов располагает большим разнообразием химических добавок. Это пластификаторы, стабилизаторы структуры, ускорители и замедлители твердения.

Минеральные тонкодисперсные компоненты, получаемые помолом горных пород (гранита, базальта, кварца и др.) и техногенных отходов (шлаков, зол и др.), а также специально производимые добавки (микрокремнезем, белая сажа и др.) выполняют различные функции. В соответствии с классификацией, разработанной В.И. Калашниковым [1, 2], все пригодные высокодисперсные минеральные компоненты подразделяются на 3 группы.

В первую группу входят реологически-активные (реакционно-латентные) добавки. Они при достаточном количестве воды и в присутствии суперпластификаторов образуют хорошо разжижающиеся суспензии в индивидуальном виде или в смеси с цементом, а при умеренном недостатке воды и введении стабилизирующих добавок образуют плотную однородную пластичную минеральную массу. Они могут быть реакционно-инертными (известняк, доломит) или химически слабоактивными с замедленным, растянутым во времени взаимодействием с продуктами гидратации цемента (кварцевая или кварцитовая мука, гранит, диабаз, габбро, базальт). Они являются основным тонкодисперсным компонентом современных бетонов.

Вторую группу составляют реакционно-активные добавки. Они самостоятельно не твердеют при затворении водой, но взаимодействуют с продуктами гидратации цемента с образованием дополнительных цементирующих соединений. Некоторые из них, имеющие мозаичный заряд поверхности частиц, обладают реологической активностью. Другие, имеющие отрицательный заряд, реологически не активны, но в смеси с цементом при перезарядке поверхности образуют агрегативно-устойчивые суспензии (микрокремнезем, дегидратированный каолин, вулканические пеплы, стекла, трассы и т.д.).

Наконец, третья группа – это реологически- и реакционно-активные, самостоятельно не твердеющие с водой минеральные компоненты. К этому классу относятся прежде всего некоторые техногенные отходы металлургии и теплоэнергетики (золы и шлаки).

При выборе сырья для производства бетонов нового поколения следует отдавать предпочтение минеральным компонентам третьей группы. Такое решение позволяет снизить себестоимость бетона, что обусловлено значительно меньшей стоимостью этих компонентов (т.к. они являются отходами других производств и зачастую дисперсными) и уменьшением номенклатуры применяемого сырья (снижаются затраты на хранение сырья, его переработку и дозирование).

Очевидно, что наиболее подходящим минеральным компонентом является тонкодисперсная основная зола-унос, образующаяся при сжигании бурых углей [3]. При использовании зол-уноса экономическая эффективность обуславливается несколькими факторами: схожестью их химического и минерального состава с составом цементного клинкера, высокими реологическими свойствами под действием суперпластификаторов и гидравлической активностью с образованием прочного затвердевшего камня; наличие большого количества свободной извести способствует быстрому загустеванию теста и набору ранней прочности. Кроме того, зола-унос обладает низкой стоимостью, т.к. для предприятий энергетики она является отходом. Зола-унос представляет собой сухой тонкодисперсный материал, состоящий, как правило, из частичек размером до 0,14 мм, т.е. достаточно близким к дисперсности портландцемента. Она образуется в результате сжигания твердого топлива на ТЭЦ и улавливается циклонами и электрофильтрами. Частицы золы традиционно представляются сферическими зернами (размером 50-60 мкм), содержащими внутри себя еще более мелкие частицы размером 1-10 мкм. Поэтому, если гранула не разрушена, то взаимодействие ее с водой начинается с поверхности стекловидной гранулы. Далее идет процесс гидратации верхней оболочки мелких гранул. Только после этого начнется гидратация более тонких гранул. Поэтому при использовании зол в естественном, немолотом виде разрушения крупных гранул практически не происходит.

Основной технологией получения дисперсных компонентов является механохимическая активация. С развитием техники измельчения обязательным процессом на заводах стройиндустрии и карьерах должен быть помол сырьевых компонентов до удельной поверхности, сопоставимой или несколько превышающей дисперсность цемента [1, 5]. Это относится не только к отсевам камнедробления горных пород, но и к отходам ТЭЦ – золе-уносу. Несмотря на то что она по физическому состоянию является порошкообразной, ее удельная поверхность ($S_{уд}=150-200 \text{ м}^2/\text{кг}$) недостаточна для использования совокупности всех позитивных ее свойств для существенного снижения расхода цемента в бетонах и ускорения темпов его твердения.

Членами научной школы В.И. Калашникова в лабораториях кафедры «Технологии строительных материалов и деревообработки» ПГУАС были разработаны композиционные бетонные смеси [3], основой которых является композиционный цемент, получаемый совместным помолом портландцемента с золой-уносом и регуляторами твердения (например гипсовым камнем). Применение механоактивированной золы-уноса позволило отказаться от использования в составе бетонной смеси дорогого пылевидного кварца и сократить долю цемента до 20-40 % от массы всего вяжущего. Используемая зола обладает гидравлической активностью и способствует формированию в процессе гидратации прочного камня.

При использовании золы-уноса с естественной удельной поверхностью, получаемой при сжигании бурых углей Канско-Ачинского месторождения, были обнаружены как положительные, так и отрицательные аспекты. В числе положительных необходимо отметить проявление гидратационной активности, т.е. при смешивании золы-уноса с водой затворения и окончании процесса гидратации образцы имели некоторую прочность. К отрицательным аспектам относится неравномерность изменения объема образцов в процессе гидратации.

Для определения равномерности изменения объема образцов можно воспользоваться современными методиками, применяемыми для исследования цементов. Такой выбор был обусловлен схожестью химического и минерального составов цемента и исследуемой золы, а также ее гидратационной активностью. Исследовались образцы из золы-уноса с естественной удельной поверхностью ($S_{уд}=150-200 \text{ м}^2/\text{кг}$) и после механо-химической активации в процессе помола до $S_{уд}=450-500 \text{ м}^2/\text{кг}$.

В процессе испытания образцов из зольного вяжущего на равномерность изменения объема их поверхность покрывалась сеткой трещин (см. рисунок а), а после выдерживания на воздухе образец разрушился (см. рисунок б). Это обусловливается тем, что испытываемая зола-унос является основной с большим содержанием свободных оксидов кальция и магния (CaO и MgO), которые продолжают взаимодействовать с водой после затвердевания образцов, что в конечном счете и приводит к их разрушению.



Внешний вид затвердевших образцов из зольного вяжущего

Испытание образцов, изготовленных из измельченной золы-уноса, не обнаружило неравномерности изменения объема: образцы не потрескались и не разрушились. Это свидетельствует о том, что помол зол в значительной мере исключает развитие напряжений от гашения свободных CaO и MgO , поскольку в результате измельчения до высокой удельной поверхности пережог CaO и MgO гасится в процессе изготовления бетонной смеси и пластического выдерживания ее до затвердевания.

В процессе исследования было определено, что измельченная зола обладает высокой реакционной активностью при взаимодействии с водой затворения [4]: зольное тесто, полученное при смешивании измельченной золы-уноса и воды, быстро густело и затвердевало. Цементно-минеральные водные суспензии с различными соотношениями исходных компонентов также быстро густели, что затрудняло получение образцов с требуемыми реологическими свойствами. Решение этой задачи возможно при использовании эффективного замедлителя твердения зольного и цементно-зольного вяжущих: гипсового камня. Это позволит контролировать сроки схватывания композиционного цементно-зольного вяжущего в широких пределах: начало твердения 5-90 мин, а конец схватывания от 15 мин до 5 часов от момента затворения сухой смеси водой.

Прежде всего испытаниям подверглись образцы из вяжущего на тонкомолотой золе. Физико-механические свойства затвердевшего зольного вяжущего приведены в табл. 1. Как видно, суспензия из зольного вяжущего характеризуется достаточно высокой подвижностью (расплыв конуса Хегерманна составил 25 см) и хорошей жизнеспособностью (90 минут), что обусловлено введением при помолке золы-уноса 7 % по массе гипсового камня. Прочность зольного камня через 28 суток нормального твердения составила 24 МПа.

Т а б л и ц а 1

Физико-механические свойства затвердевшего зольного вяжущего
на основе тонкомолотой золы-уноса

Наименование компонентов	На 1 м ³ , кг	Объем на 1 м ³ , л	В/З	ρ, кг/м ³	Прочность, МПа, через 28 сут	Показатели
Зола + гипсовый камень 7 % от золы, S _{уд} =605 м ² /кг	1663	554	0,232	2011	R _{сж} =24	Z _{R_c} ^{уд} = 69,3 кг/МПа; R _{ЦЗВ} ^{уд} = 0,014 МПа/кг
ГП Хидетал 9γ 1 % от массы золы	16,6	12,8			R _{из} =3,6	
ΣM _{сух.}	1663	—	Расплыв конуса Хегерман- на 25 см	Жизнеспособ- ность смеси более 1,5 ч		
ΣV _{сух.}	—	554				
Вода	385	385				
M _{б.с.}	2048	—				
V _{б.с.}	—	939				

На втором этапе были изготовлены образцы из цементно-зольного вяжущего (ЦЗВ) на основе Красноярского портландцемента марки СЕМ I 42,5 и золы-уноса. Количество золы варьировалось от 20 до 70 % от массы вяжущего. Испытания проводились через 2, 7, 28 суток нормального твердения на образцах-балочках $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$, изготовленных из литых, самоуплотняющихся суспензий.

Свойства суспензий и затвердевших цементно-зольных вяжущих с различным соотношением цемент : зола приведены в табл. 2. Удельный расход цемента в цементно-зольном вяжущем на единицу прочности при сжатии в зависимости от процентного содержания цемента варьируется от 5,0 до 10,28 кг/МПа . В связи с тем что прочностные показатели затвердевших вяжущих с 50, 60 и 70 % цемента практически одинаковы, не имеет смысла увеличивать содержание цемента выше 50 %. Однако окончательное максимальное количество цемента может быть установлено при испытании бетона.

Реотехнологические свойства цементно-зольных суспензий и физико-механические свойства затвердевшего цементно-золяющего вяжущего

Отношение цемент : зола, %	В/В	ρ , кг/м ³	P_x , см	Прочность при сжатии, МПа, через, сут			Показатели	
				2	7	28	$\text{ЦЗВ}_{R_c}^{\text{уд}}$, кг/МПа	$\text{Ц}_{R_c}^{\text{уд}}$, кг/МПа
20 : 80	0,209	2150	35	26	60,5	84	25,00	5,00
30 : 70	0,211	2205	37	48	75,6	114	18,42	5,53
40 : 60	0,215	2215	41	62,4	95,2	128	16,41	6,56
50 : 50	0,209	2240	35	80,8	100	140	15,00	7,50
60 : 40	0,214	2245	38	86,8	110	144	14,58	8,75
70 : 30	0,200	2241	36	102	112	143	14,67	10,28

Обнаружилась необычность поведения золы при протекании реакционного процесса твердения цементно-золяного камня, которая объясняется несколькими факторами, одним из которых, по-видимому, является взаимодействие извести с собственными алюмосиликатными стеклами золы. Не исключается и реакционный процесс, протекающий между частицами золы и продуктами гидратации цемента, что подтвердилось исследованиями вещественного состава золы и цементно-золяного камня методом рентгенофазового анализа.

Такое высокое содержание золы в цементно-золяном вяжущем стало возможным благодаря «пробуждению» вяжущих свойств золы путем механохимической активации цементно-золяного композитного вяжущего совместным домолом портландцемента, золы и гипсового камня, в результате чего реализуется ее интенсивное твердение совместно с твердением портландцемента. Разработанный композиционный цемент обладает высокой реологической активностью под действием суперпластификаторов, что дает возможность приготовления пластичной бетонной смеси. Путем введения различного количества гипсового камня можно регулировать сроки схватывания и твердения вяжущего (начало твердения от 5 до 40 мин) и, как следствие, бетонной смеси, что позволяет приготавливать достаточно пластичную бетонную смесь, которая после экструзии быстро твердеет. Полученный бетон является мелкозернистым, обладает приемлемой пористостью (2-4 %), что обеспечивает его высокую морозостойкость. Прочность бетона может достигать до 100-120 МПа, а при использовании фибры – до 150-200 МПа.

Список литературы

1. Калашников, В.И. Через рациональную реологию – в будущее бетонов / В.И. Калашников // Технологии бетонов. – 2007. – №5. – С. 8–10; 2007. – №6. – С. 8–11; 2008. – №1. – С. 22–26.
2. Калашников, В.И. Терминология науки о бетоне нового поколения бетонов / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2011. – №3. – С. 103–106.
3. Возможность использования домолотого цементно-золяного вяжущего для производства бетонов нового поколения / Е.А. Белякова, М.Н. Мороз, Р.Н. Москвин, В.С. Белякова // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – №2–1 (46). – С. 126–129.
4. Тепловыделение и реакционная активность зол-уноса в цементно-золяных вяжущих / В.И. Калашников, Р.Н. Москвин, Е.А. Белякова, В.С. Белякова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2014. – №2 (10). – С. 163–170.
5. Ананьев, С.В. Состав, топологическая структура и реотехнологические свойства реологических матриц для производства бетонов нового поколения: дис. ... канд. техн. наук / С.В. Ананьев. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 162 с.

References

1. Kalashnikov, V.I. Through rational rheology – into the future of concretes / V.I. Kalashnikov // Concrete technology. – 2007. – №5. – P. 8–10; 2007. – №6. – P. 8–11; 2008. – №1. – P. 22–26.
2. Kalashnikov, V.I. Terminologiya nauki o betone novogo pokoleniya / V.I. Kalashnikov // Stroitelnyye materialy. – 2011. – №3. – P. 103–106.
3. The ability to use milled cement-ash binder for the production of a new generation of concretes / E.A. Belyakova, M.N. Moroz, R.N. Moskvina, V.S. Belyakova // Modern scientific research and innovation. – 2015. – №2–1 (46). – P. 126–129.
4. Heat and reaction activity of fly ashes in cement ash binders / V.I. Kalashnikov, R.N. Moskvina, E.A. Belyakova, V.S. Belyakova // Models, systems, networks in the economy, technology, nature and society. – 2014. – №2 (10). – P. 163–170.
5. Ananiev, S.V. Composition, topological structure and reotechnological properties of rheological matrices for the production of a new generation of concretes: dis. ... cand. of Sciences / S.V. Ananiev. – Penza: PGUAS, 2011. – 162 p.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Гаврилов Михаил Александрович,
старший преподаватель кафедры
«Начертательная геометрия и графика»
E-mail: gavrillov79@inbox.ru

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

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

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

Пензенский государственный технологический университет

Россия, 440039, г. Пенза,
проезд Байдукова / ул. Гагарина, 1а / 11,
тел. (8412) 49-54-41; факс (8412) 49-60-86

Худяков Владислав Анатольевич,
кандидат технических наук, профессор,
проректор по непрерывному образованию

Penza State University of Architecture and Construction

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

Gavrilov Mikhail Aleksandrovich,
Senior Tutor of the department «Descriptive
Geometry and Graphics»
E-mail: gavrillov79@inbox.ru

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

Russia, 430000, Saransk, 24,
Sovetskaya St.,
tel.: (8342) 47-71-56

Yerofeev Vladimir Trofymovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of
department «Building materials and
technology»

Penza State Technological University

Russia, 440039, Penza,
1A / 11 Baidukova / Gagarin St.,
tel. (8412) 49-54-41; fax (8412) 49-60-86

Hudjakov Vladislav Anatolievich,
Candidate of Sciences, Professor, Head of the
Department of Continuous Education

УДАРНАЯ ПРОЧНОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

М.А. Гаврилов, В.Т. Ерофеев, В.А. Худяков

Исследована ударная прочность наполненных эпоксидных композитных материалов на основе отходов производства. Выявлены закономерности изменений ударно-прочностных показателей в зависимости от состава и условий экспонирования. Рассмотрены особенности формирования ударопрочной структуры ЭКМ.

Ключевые слова: эпоксидный композит, полимерные связующие, ударная прочность

IMPACT STRENGTH OF EPOXY COMPOSITES ON INDUSTRIAL WASTE

М.А. Gavrilov, V.T. Erofeev, V.A. Hudjakov

Impact strength of filled epoxy composites on the basis production wastes has been researched. Regularities concerning the changes in impact strength values, depending upon environmental exposition and type of compositions have been pointed out. Features of structural formation of impact-resistant materials have been evaluated.

Keywords: epoxy composite, polymer binders, impact strength

Покрyтия из эпоксидных композиционных материалов (ЭКМ) в зависимости от области применения часто подвергаются механическим нагрузкам динамического характера. Состояние эпоксидного композита в момент приложения динамической нагрузки может быть стеклообразным, высокоэластическим либо вязкотекучим. Разновидность состояния ЭКМ диктует особенности его поведения под нагрузкой [1,3].

При ударных воздействиях тело реагирует на нагрузки как упругое, вне зависимости от вязкости системы, в то время как при длительно действующих напряжениях проявляется пластическая деформация высоковязких веществ. Следовательно, закономерности изменения прочности зависят от скорости деформирования, что, в свою очередь, определяет релаксационную природу механических свойств эпоксидных композитов [4].

Проводились исследования устойчивости эпоксидных композитов на основе отходов строительного и химического производств по отношению к ударным нагрузкам в условиях натурной климатической экспозиции.

Испытаны образцы эпоксидных композитов с использованием различных видов наполнителя. В качестве наполнителей были использованы тонкодисперсные отходы строительного производства (ТДОСП), представляющие собой тонкодисперсные волокна асбеста в сочетании с тонкодисперсным портландцементом; волокнистые отходы химической промышленности (ВОХП), представляющие собой тонкодисперсные волокна асбеста с содержанием основных минералов цементного клинкера в количестве от 0 до 10 %; кварцевый песок и портландцемент. В качестве связующего применена эпоксидная смола ЭД-20, в качестве отвердителя – полиэтиленполиамин. Составы образцов приведены в таблице.

Исследуемые составы

№ состава	Содержание массовых частей в составе					
	ЭД-20	ПЭПА	ТДОСП	ВОХП	Песок	Портландцемент
1	100	10	-	-	-	-
2	100	10	100	-	-	-
3	100	10	-	100	-	-
4	100	10	-	-	100	-
5	100	10	-	-	-	100

Испытания на удар производились согласно методу ASTM D 7126 [7] с использованием вертикального копра Coesfeld. Данный копер оснащен полусферическим бойком массой 2,3 кг с диаметром наконечника 10 мм. Высота падения ударного бойка – 50 мм. Датчик скорости движения бойка устанавливается на расстоянии 3-6 мм над поверхностью образца. Копер оснащен системой антиотскока для предотвращения повторного удара бойка по поверхности образца. В процессе испытаний фиксировались глубина отпечатка, размеры и площадь зоны повреждения F_1 , $F_{\max}$, E_1 , $E_{\max}$.

Энергию удара E_i , Дж, определяли по формуле

$$E_i = C_E \cdot h, \quad (1)$$

где $C_E = 6,7$ – коэффициент нормирования энергии удара на толщину образца, Дж/мм; h – толщина образца, мм.

В момент удара регистрировалась зависимость контактной силы от времени [5]. Из данной зависимости была определена величина импульса ударника J , при котором происходило разрушение образца:

$$J = F_{\max} \int_0^{\tau} f(\tau) d\tau, \quad (2)$$

где $F_{\max}$ – максимальная сила, зафиксированная в процессе разрушения образца; τ – продолжительность контакта ударника с образцом.

Изготовленные образцы были разделены на две части. Первая часть образцов была выставлена на натурную климатическую экспозицию согласно ГОСТ 9.906 [8] Геленджикского центра климатических испытаний им. Г. В. Акимова. Было проверено влияние трех видов натурной климатической экспозиции: под навесом, на открытой площадке, с погружением в морскую воду. Длительность натурной экспозиции

составляла 1 год. Вторая часть образцов (контрольные образцы) хранилась в комнатных условиях г. Саранска при температуре от 20 до 25 °С и относительной влажности от 35 до 60 %. После завершения натурной экспозиции на все образцы наносились ударные повреждения с энергией удара, нормированной на толщину образца согласно ASTM D 7136 (метод А).

Примеры кривых зависимости контактной силы удара от времени и значения импульса для образцов приведены на рис. 1 и 2.

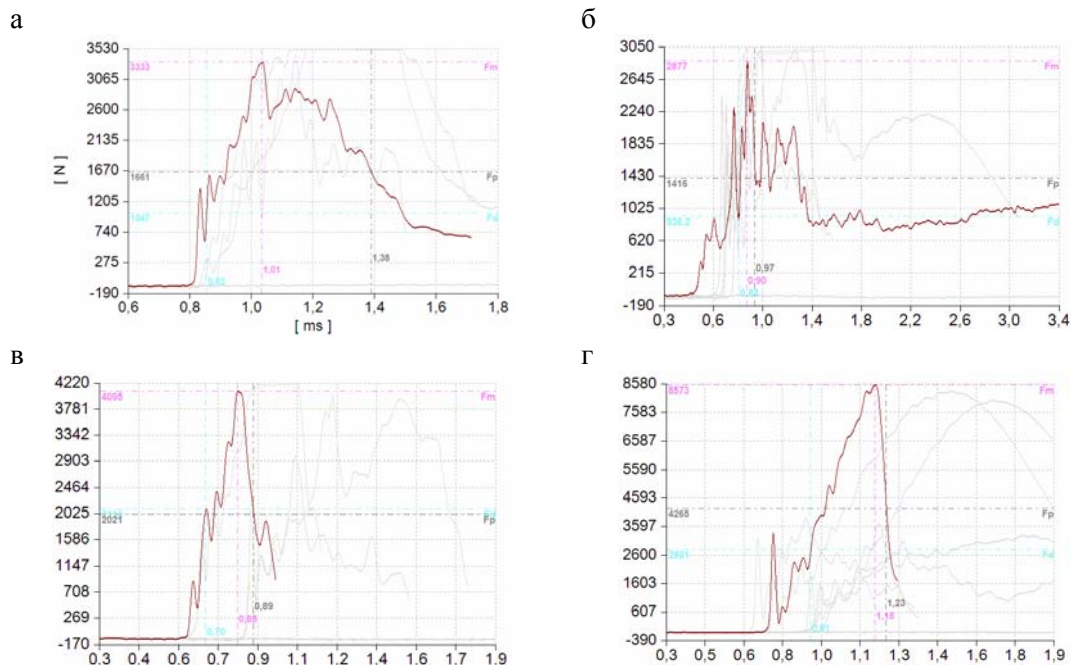


Рис. 1. Зависимости изменения силы ударника от времени при испытании образцов состава №2:

а – контрольный образец; б – после экспозиции на открытой площадке;
в – после экспозиции под навесом; г – после экспозиции в морской воде

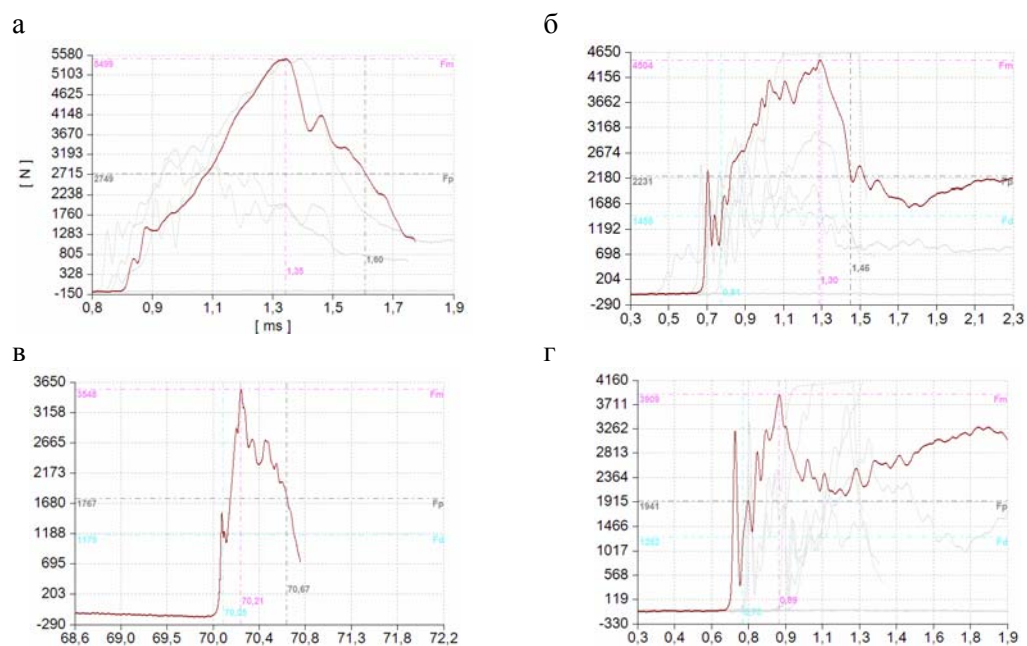


Рис. 2. Зависимости изменения силы ударника от времени при испытании образцов состава №3:

а – контрольный образец; б – после экспозиции на открытой площадке;
в – после экспозиции под навесом; г – после экспозиции в морской воде

Результаты испытаний на ударную прочность показывают существенное изменение физико-механических свойств эпоксидных композиционных материалов после 1 года натурной климатической экспозиции. Для составов 3, 4 и 5 закономерностью является снижение максимальной контактной силы и импульса ударника после натурной экспозиции. Так, для состава 3 максимальная контактная сила уменьшилась в наибольшей степени после экспозиции под навесом (64,5 %), в то время как для состава 4 этот показатель снизился после экспозиции в морской воде на 64,8 %. В то же время необходимо отметить увеличение максимальной контактной силы в случае с составом 5, которая после экспозиции под навесом выросла на 12 %.

Следует отметить, что для образцов, изготовленных с применением ТДОСП (состав №2), характерно увеличение максимальной контактной силы при экспозиции под навесом (22,9 %) и – еще в большей степени – после экспозиции в морской воде (в 2,5 раза). Последнее можно объяснить наличием новообразований в композите, определенным образом влияющих на прочностные показатели [1, 2].

Анализ результатов выполненного эксперимента показывает, что составы 3–5 наряду с уменьшением максимальной контактной силы разрушаются при меньших значениях импульса ударника. Например, состав №3, экспонированный в морской воде, показал снижение разрушающей силы в 1,4 раза, а величина импульса при этом уменьшилась в 2,5 раза.

У состава №2 на основе каркасного полимербетона в результате экспозиции в морской воде в течение года повысился показатель разрушающей силы в 2,5 раза и увеличился импульс, приведший к разрушению образца, – в 1,15 раза.

Выводы

1. Происходит ухудшение стойкости образцов ЭКМ к механическим ударным нагрузкам (после их экспонирования в натуральных климатических условиях умеренно теплого климата Геленджика). В случае с составом на основе ТДОСП отмечено улучшение показателей стойкости.
2. Снижение максимальной контактной силы каркасных композитов после натурального экспонирования в большинстве случаев сопровождается увеличением пластичности, способствующей поглощению энергии при механических воздействиях.
3. Выявлены особенности формирования ударопрочной структуры в образцах ЭКМ на основе отходов производства в условиях натурального экспонирования.

Список литературы

1. Гаврилов, М.А. Композиционные материалы на основе эпоксидной смолы / М.А. Гаврилов, В.Н. Вернигорова // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №2. – С. 50–56.
2. Изучение влияния вида наполнителей на основе асбестосодержащих отходов и их содержания на технологические и механические свойства эпоксидных композитов / М.А. Гаврилов, Д.А. Губанов, В.Т. Ерофеев, В.А. Худяков // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №2. – С. 33–42.
3. Данилов, А.М. Разработка строительных материалов как сложных систем / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №2. – С. 50–54.
4. Данилов, А.М. Структура наполненного эпоксидного связующего. Оптическая и сканирующая зондовая микроскопия / А.М. Данилов, В.П. Селяев, А.Н. Круглова // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1. – С. 41–52.
5. Бобрышев, А.Н. Полимерные композиционные материалы / А.Н. Бобрышев, В.Т. Ерофеев, В.Н. Козомазов. – Саранск, 2013. – 480 с.
6. Ерофеев, В.Т. Эпоксидные полимербетоны, модифицированные нефтяными битумами, каменноугольной и карбамидной смолами и аминопроизводными соединениями / В.Т. Ерофеев [и др.]. – М.: АСВ, 2008. – 244 с.

7. ASTM D 7136 / D 7136M-07. Standard Test Method for Measuring the Damage Resistance of a Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composite to a Drop-Weight Impact Event.

8. ГОСТ 9.906–83. Единая система защиты от коррозии и старения. Станции климатические испытательные. Общие требования. – М., 1983.

References

1. Gavrilov, M.A. Composite materials based on epoxy resin / M.A. Gavrilov, V.N. Vernigorova // Regional Architecture and Construction. – 2013. – Vol. 2. – P. 50–56.

2. Evaluation of effective types and consistences of asbestos-based waste fillers upon epoxy composites and their technological and mechanical properties / M.A. Gavrilov, D.A. Gubanov, V.A. Hudjakov, V.T. Erofeev // Regional Architecture and Construction. – 2016. – Vol. 2. – P. 33–42.

3. Danilov, A.M. Researching the construction materials as complex sytems / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional Architecture and Construction. – 2016. – Vol. 2. – P. 50–54.

4. Danilov, A.M. Structure of filled epoxy binder. Optical and scanning probe microscopy / A.M. Danilov, V.P. Selyaev, A.N. Kruglova // Regional Architecture and Construction. – 2014. – Vol. 1. – P. 41–52.

5. Bobryshev, A.N. Polymer composite materials / A.N. Bobryshev, V.T. Erofeev, V.N. Kozomazov. – Saransk, 2013. – 480 p.

6. Erofeev, V.T. Epoxy polymerconcretes modified by oil bitumen, coal and carbamide resins and aminoderivative substances / V.T. Erofeev [etc.]. – М., ASV, 2008. – 244 p.

7. ASTM D 7136 / D 7136M-07. Standard test method for measuring the damage resistance of a fiber-reinforced polymer matrix composite to a drop-weight impact event.

8. GOST 9.906–83. Unified system of corrosion and aging. Stations climatic test. General requirements. – М., 1983.

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

Россия, 430000, г. Саранск,
ул. Большевистская, д. 68,
тел.: (8342)47-71-56; факс: (8342)47-71-56

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

Куприяшкина Людмила Ивановна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: kupriashkina.liudmila@yandex.ru

Седова Анна Алексеевна,
кандидат химических наук, доцент
кафедры «Аналитическая химия»

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

Колотушкин Алексей Владимирович,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»

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

Russia, 430000, Saransk, 68,
Bolshevistskaya St.,
tel.: +7(8342)47-71-56; fax: +7(8342)47-71-56

Seljaev Vladimir Pavlovich,
Doctor of Science, Professor, Head
of the department «Building structures »,
academician of the Russian Academy of
Architecture and Construction Sciences
E-mail: ntorm80@mail.ru

Kupriyashkina Liudmila Ivanovna,
Candidat of Science, Associate Professor
of the department «Building structures »
E-mail: kupriashkina.liudmila@yandex.ru

Sedova Anna Alekseevna,
Candidat of Chemical Sciences, Associate
Professor of the department «Analytical
chemistry»

Seljaev Pavel Vladimirovich,
Candidat of Science, Associate Professor
of the department «Building structures
E-mail: ntorm80@mail.ru

Kolotushkin Aleksey Vladimirovich,
Postgraduate student of the department
«Building structures»

ХИМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЕЙСТВИЮ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ ИОНЫ ХЛОРА

В.П. Селяев, Л.И. Куприяшкина, А.А. Седова, П.В. Селяев, А.В. Колотушкин

Приведены результаты исследований воздействия растворов, содержащих ионы хлора, в цементном композите, при котором происходит разрушение гидросиликата и гидроксида кальция с образованием геля кремниевой кислоты и хлорида кальция. Показано развитие двух процессов – выщелачивания и кольматации. Кольматационный механизм коррозии цементного композита характерен для начального периода и приводит к временному повышению прочности, но затем начинает преобладать процесс лавинного выщелачивания. При снижении содержания в композите гидроксида кальция наблюдаются потеря прочности и разрушение композита. Введением в состав композита микрокремнезема, пластификатора можно управлять процессом коррозии цементного камня, замедлять путем снижения скорости переноса агрессивной среды.

Показатели химического сопротивления, определенные экспериментально, дают возможность формировать на основе метода предельных состояний расчетные модели для оценки долговечности железобетонных изделий, работающих в водных растворах, содержащих ионы хлора.

Ключевые слова: коррозия, кольматация, ионы хлора, коэффициент диффузии, композит.

CHEMICAL RESISTANCE OF CEMENT COMPOSITES TO AQUEOUS SOLUTIONS CONTAINING IONS OF CHLORINE

V.P. Selyaev, L.I. Kupriyashkina, A.A. Sedova, P.V. Selyaev, A.V. Kolotushkin

The article describes studies of the effects of solutions containing chloride ions in cement composite in which silicate and calcium hydroxide failure occurs forming a silicic acid gel and calcium chloride. The development of two processes is shown: leaching and mudding. Colmatation corrosion mechanism of cement composite is characteristic of the initial period and leads to a temporary increase in strength, but then the process of avalanche leaching begins to dominate. Decreasing the amount of calcium hydroxide in the composite leads to the loss of strength and degradation of the composite. The introduction of composite fume, plasticizer can control the process of corrosion of cement stone, slowing down the transfer rate by reducing the corrosive environment.

Indicators of chemical resistance determined experimentally allow to generate on the basis of limit states calculation models for estimating the durability of concrete products, employed in aqueous solutions containing chloride ions.

Keywords: corrosion, mudding, chlorine ions, diffusion coefficient, composite

Химическое сопротивление цементных композитов действию ионов хлора представляет научный и практический интерес. В состав цементных композитов ионы хлора могут попадать вместе с компонентами, формирующими структуру композита: наполнителями; минерализованной водой затворения; добавками – ускорителями твердения; из растворов соли, применяемых для удаления льда с поверхности бетона. Сопротивление цементных композитов хлоридной коррозии привлекало внимание многих исследователей [1, 2, 3], но до сих пор недостаточно изучено. Высказываются противоречивые мнения о влиянии кольтматационного эффекта; нет данных об основных параметрах, определяющих интенсивность процесса [1, 2].

Целью проведенных исследований являлось изучение процессов, происходящих в цементном композите при его взаимодействии с растворами, содержащими ионы хлора; математическое описание этих процессов и определение основных параметров химического сопротивления композитов растворам хлористоводородных соединений.

Экспериментальные исследования проводились на образцах-призмах размером 20×20×70 из наполненных цементных композитов. Составы композитов приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Составы цементных композитов

№	№ состава	Вид цемента	В/Ц	Наполнитель		Суперпластификатор	
				Вид	Кол-во от массы цемента, %	Вид	Кол-во от массы цемента, %
1	1	ПЦ-М500-ДО ОАО «Мальцовский цементный завод»	0,3	МКУ-85	15	Пластано л-7	0,9
2	2	ПЦ-М500-ДО ОАО «Мальцовский цементный завод»	0,27	МКУ-85	15	Хидетал- ГП-9-γ	0,5
3	3	ПЦ-М400 ДО ОАО «Мордовцемент»	0,32	МКУ-85	10	Пластано л-7	0,9
4	4	ПЦ-М400 ДО ОАО «Мордовцемент»	0,32	МКУ-85	15	Хидетал- ГП-9-γ	0,5
5	5	ПЦ-М400 ДО ОАО «Мордовцемент»	0,4	ЦСП*	10	-	-
6	6	ПЦ-М400 ДО ОАО «Мордовцемент»	0,4	ЦСП	20	-	-
7	7	ПЦ-М400 ДО ОАО «Мордовцемент»	0,4	ЦСП	30	-	-

*ЦСП – цеолитсодержащая порода

Агрессивная среда представлена 1 %, 2 % и 3 % водными растворами соляной кислоты и 25 % раствором NaCl. Образцы после 7, 14, 28, 180 суток экспонирования в растворах вынимали из агрессивной среды, подсушивали и фиксировали следующие изменения: содержание ионов кальция, элементный состав и структура осадка в растворе, кислотность в фильтрате, масса образцов, глубина проникания среды и зона разрушения структуры, предел прочности при сжатии, предельные деформации. По экспериментальным данным определились: показатели химического сопротивления цементного камня агрессивным средам; предельная сорбционная емкость (ω_0); коэффициент эффективной проводимости (D_m); коэффициент химического сопротивления (k_{xc}).

Кислотность растворов контролировалась с помощью pH-метра «Эксперт РН». Содержание ионов в фильтрате определяли спектрометрическими методами. Характер кинетических зависимостей $pH - t$ представлен на рис. 1. Анализ графиков показывает, что активность растворов 1 %-й кислоты выше по сравнению с 2- и 3 %-й. Равновесие в системе «цементный камень – кислота» наступает через 7-10 суток в 1 %-й кислоте ($pH \approx 11$), в 2- и 3 %-й – через 15 суток при $pH \approx 10$.

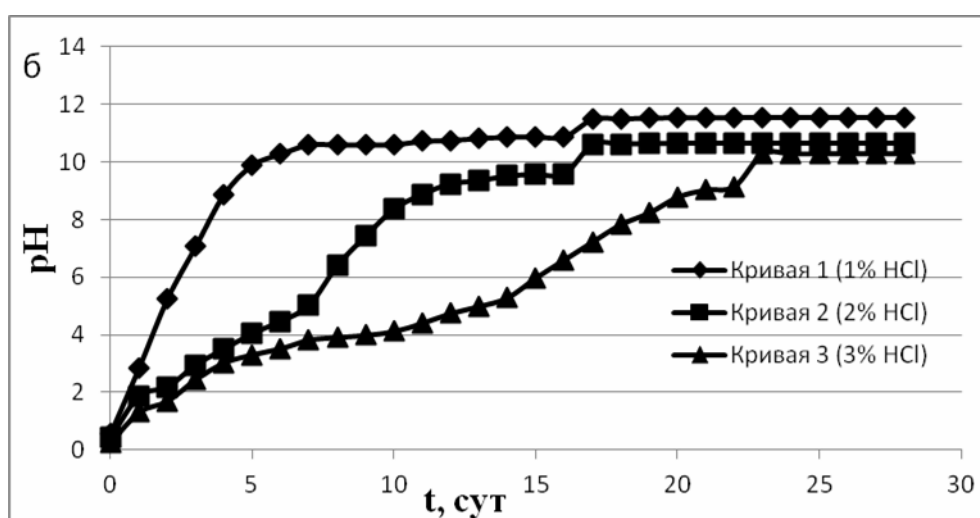
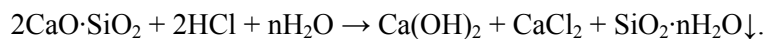


Рис. 1. Динамика изменения pH среды при выдерживании цементного камня в растворах соляной кислоты различной концентрации в течение 28 суток. Содержание ЦСП в цементном камне 20 %. Диаметр гранул ЦСП – 0,315 мм

При контакте бетона с водным раствором кислоты (HCl) происходит разрушение гидросиликата кальция и других гидратных фаз, образуется гидроксид кальция $Ca(OH)_2$, который переносится в раствор, что приводит к росту pH и повышению концентрации ионов Ca в фильтрате (рис. 2).



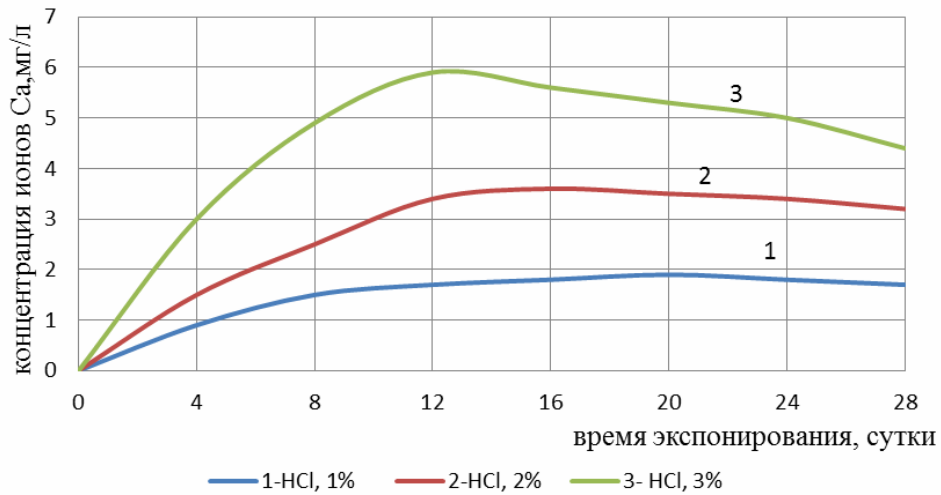
Хлорид кальция, образовавшийся при взаимодействии $Ca(OH)_2$ с HCl, хорошо растворяется в воде и почти полностью вымывается из пор бетона. Гель кремнекислоты $SiO_2 \cdot nH_2O$ отличается малой растворимостью в воде (около 0,01 г/л), по сравнению с $Ca(OH)_2$ (около 1,1 г/л), поэтому он накапливается в порах бетона, вызывая коагуляцию и временное торможение процесса коррозии бетона.

Косвенно эти выводы подтверждаются графиками изменения прочности при сжатии цементных композитов, наполненных микрокремнеземом (рис. 3).

Наращение объема геля кремнекислоты в порах бетона приводит к временному повышению прочности, но уже на 28-е сутки к разрушению структуры и понижению прочности.

Анализ сорбционных кривых показывает, что после 28 суток (672 часа) начинает лавинно (показано стрелками) развиваться процесс потери массы образцов (при 1 % HCl); для раствора 25 % NaCl через 150 суток.

а



б

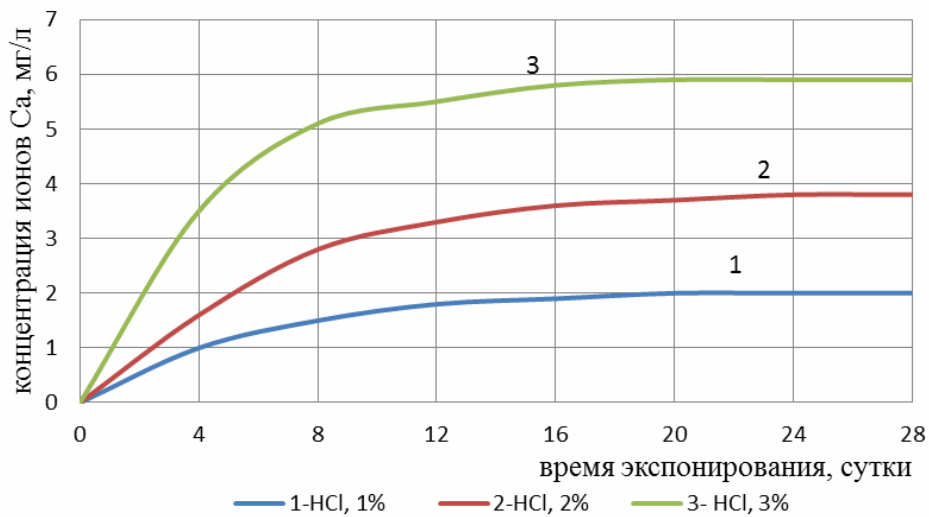


Рис. 2. Содержание ионов кальция в фильтрате после экспонирования цементных композитов в растворах HCl различной концентрации, содержащих:
а – ЦСП – 10 %; б – ЦСП – 30 %

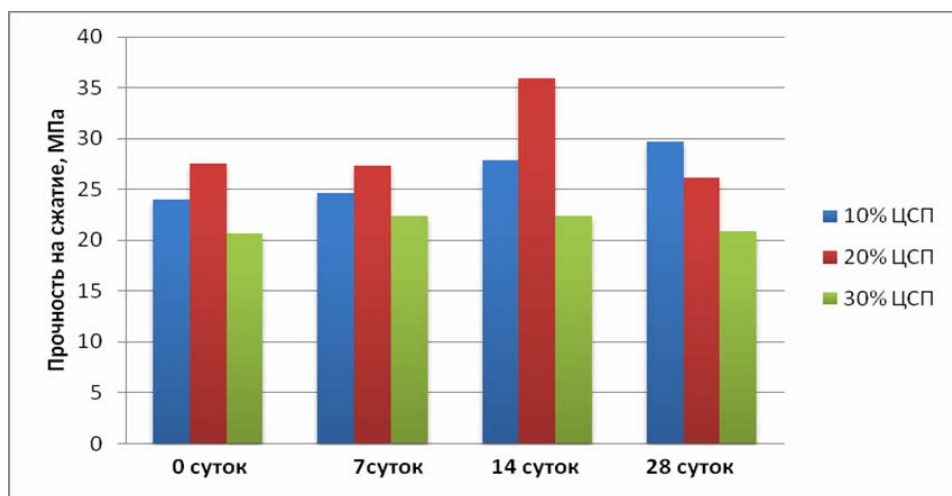


Рис. 3. Влияние степени наполнения ЦСП на прочность при сжатии цементных композитов, обработанных 1 %-й соляной кислотой

Следовательно, через 28 суток процессы распада структурных связей и выщелачивания начинают преобладать над коагуляционным. При этом содержание SiO_2 в фильтрате увеличивается с повышением концентрации HCl , а следовательно, усиливается процесс разрушения бетона.

Анализ процессов взаимодействия водных растворов соединений хлора с цементным камнем подтверждает гипотезу о том, что разрушение структуры прежде всего лимитируется процессами переноса агрессивной среды в глубь материала и химического взаимодействия реакционноспособных компонентов.

Для математического описания кинетики продвижения агрессивной среды в глубь изделия принято использовать феноменологическую модель обобщенной проводимости, согласно которой величина потока J прямо пропорциональна градиенту потенциала субстанции ω

$$J = D_m \text{grad}(\omega), \quad (1)$$

где D_m – коэффициент (показатель) эффективной потенциалопроводимости.

Известно, что уравнение (1) переноса субстанции (жидкости, теплоты, энергии и т.д.) на основе закона сохранения массы можно представить дифференциальным уравнением вида:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = D_m \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2}. \quad (2)$$

Решения уравнения (2) известны [1] при различных граничных условиях, и они дают возможность определять: глубинный показатель; координату фронта деградации; коэффициент эффективной потенциалопроводимости по формулам:

$$a = k(\xi) \sqrt{D_m t}. \quad (3)$$

$$D_m = \left[\ln \frac{8}{\pi} - \ln \frac{\omega_0 - \omega_{(t)}}{\omega_0} \right] \frac{4R^2}{\pi^2 t}; F_0 > 0,1, \quad (4)$$

где F_0 – критерий Фурье, $F_0 = \frac{D_m t}{R^2}$; $k(\xi)$ – коэффициент, величина которого может быть принята равной 0,1 из условия инструментальной точности определения значения a – координаты границы области деградации композита; ω_0 – предельная сорбционная емкость; $\omega_{(t)}$ – концентрация агрессивной среды в момент времени t ; R – характерный размер.

Ратнер С.Б. [3] предложил для описания процесса сорбции применять дробно-линейную функцию вида:

$$\omega_t = \frac{\omega_0 t}{t_0 + t}, \text{ или } \frac{1}{\omega_t} = \frac{1}{\omega_0} + \left(\frac{t_0}{\omega_0} \right) \frac{1}{t}, \quad (5)$$

где t_0 – кинетическая характеристика процесса сорбции.

По сорбционным кривым определяются параметры ω_0 и t_0 , и тогда коэффициент эффективной потенциалопроводимости можно рассчитать по формуле вида:

$$D_m = \left[0,93 - \ln \left(1 - \frac{\omega_t}{\omega_0} \right) \right] 0,4 \frac{R^2 \left(1 - \frac{\omega_t}{\omega_0} \right)}{\frac{\omega_t}{\omega_0} t_0}; F_0 > 0,1 \quad (6)$$

Кинетику разрушения связей в композитах на границе контакта со средой предложено [1,2] описывать уравнением вида:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -kc^n \omega_0^m, \quad (7)$$

где c – относительное количество работоспособных связей в единице объема композита; n, m – порядок реакций, $n = m = 1$.

Тогда из решения уравнения (7) с учетом эмпирического значения k коэффициент химического сопротивления будет равен:

$$k_{\text{х.с.}} = \frac{c_{(t)}}{c_{(0)}} = \frac{\sigma_{(t)}}{\sigma_{(0)}} = \exp\{-k\omega_0 t\}. \quad (8)$$

Рассмотрим возможности применения полученных зависимостей (3)÷(8) для анализа экспериментальных данных.

Обработка графиков сорбции (рис. 4, 5) с применением уравнения (5) показала, что экспериментальные данные хорошо ложатся на прямые линии в осях « $1/\omega - 1/t$ ».

Прямые линии на рис. 6, 7 пересекаются с осью ординат, и это дает возможность определить предельную сорбционную емкость для каждого состава.

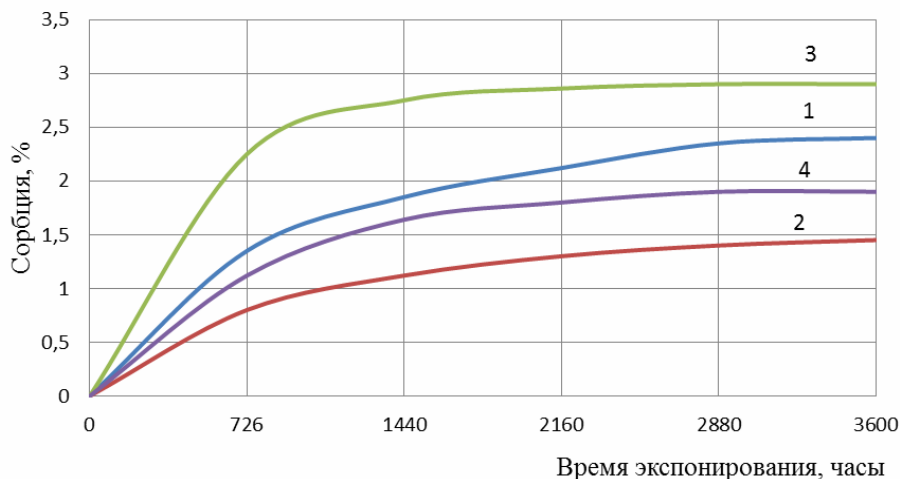


Рис. 4. Графики сорбции цементных композитов в 25 % водном растворе NaCl (1,2,3,4 – номера составов в табл. 1)

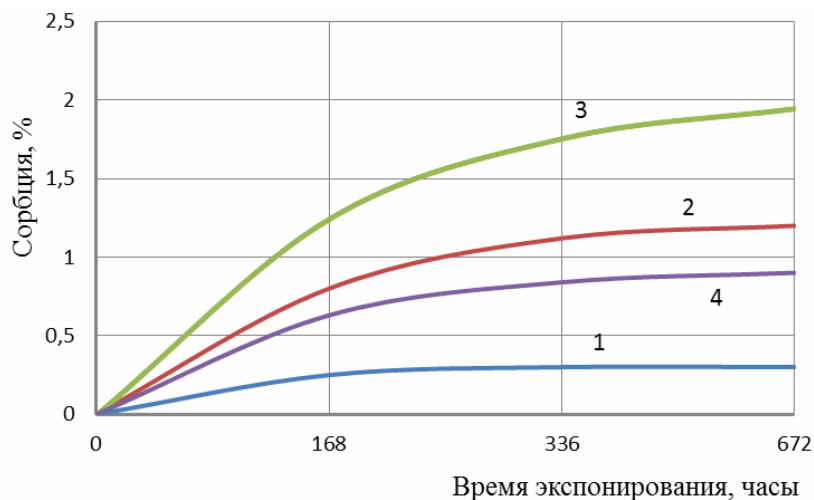


Рис. 5. Графики сорбции цементных композитов в 1 % водном растворе HCl (1, 2, 3, 4 – номера составов в табл. 1)

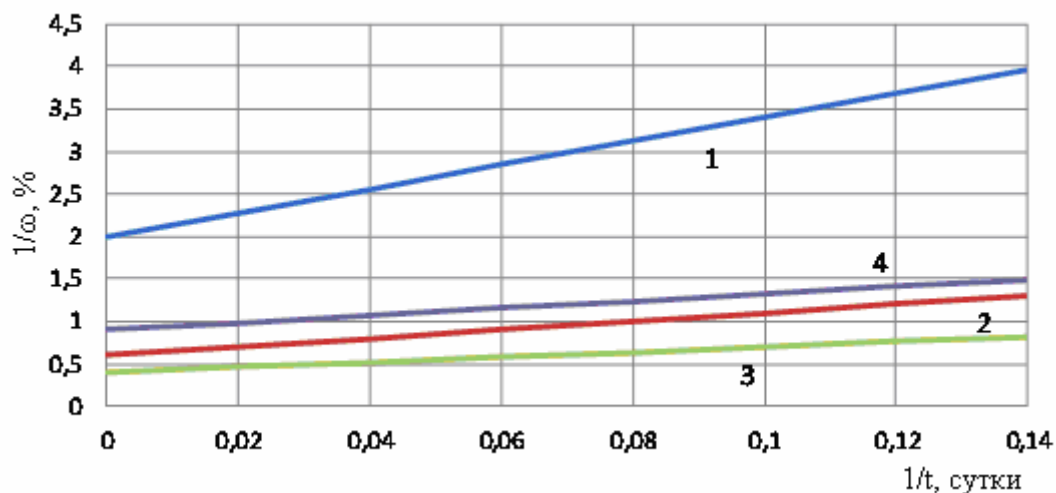


Рис. 6. Определение сорбционной емкости ω_{0i} цементных композитов в 1 % водном растворе HCl:
 1 – $\omega_{01} = 0,5$ %; 2 – $\omega_{02} = 1,5$ %; 3 – $\omega_{03} = 2,5$ %; 4 – $\omega_{04} = 1,1$ %
 (1,2,3,4 – номера составов в табл.1)

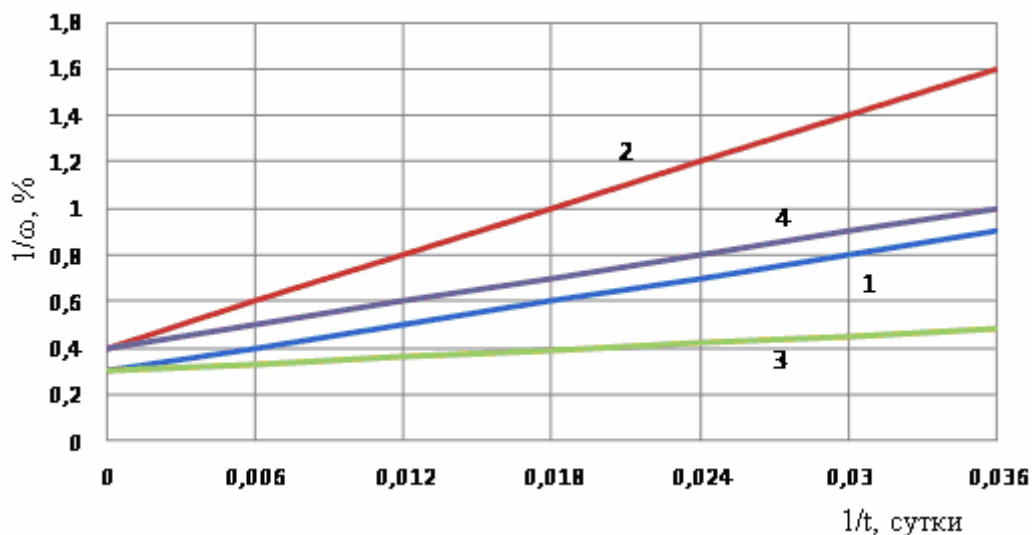


Рис. 7. Определение сорбционной емкости ω_{0i} цементных композитов в 25 % водном растворе NaCl:
 1 – $\omega_{01} = 3,3$ %; 2 – $\omega_{02} = 2,5$ %; 3 – $\omega_{03} = 3,5$ %; 4 – $\omega_{04} = 2,5$ %
 (1,2,3,4 – номера составов в табл.1)

Установлено, что в 1 % водном растворе HCl сорбционная емкость меняется от 0,5 до 2,5 % и каждому составу присуще свое значение ω_0 .

При действии водных растворов NaCl на цементный композит сорбционные емкости составов 1, 3 и 2, 4 соответственно равны 3,3 % и 2,5 %. Следовательно, составы 1, 3 и 2, 4 имеют подобные структурные параметры, т.е. можно говорить о том, что механизмы действия пластификаторов «Пластанол», «Хидетал» на процесс формирования структуры цементных композитов идентичны.

По графикам изменения прочностных характеристик были определены коэффициенты химического сопротивления. Численные показатели параметров химического сопротивления приведены в табл. 2.

Коэффициенты эффективной проводимости D_m , определенные сорбционным методом дают возможность по формуле (3) определить глубинный показатель «а».

Показатели химического сопротивления цементных композитов

№ п/п	№ составов	Среда	Сорбционная емкость m_0 , %	Коэффициент $D_m \cdot 10^6$, $\text{м}^2/\text{ч}$		$k_{\text{х.с.}}$ (180 сут)
				t_0 , ч		
1	1	1 % HCl	0,5	6,25	23	0,76/0,8
2	2	1 % HCl	1,5	3,0	49	0,96/0,95
3	3	1 % HCl	2,5	6,25	23	0,72/0,85
4	4	1 % HCl	1,1	5,5	27	0,82/0,65
5	1	25 % NaCl	3,3	55,4	2,6	1,5/1,05
6	2	25 % NaCl	2,5	84,0	1,7	1,25/1,2
7	3	25 % NaCl	3,3	15,7	9,4	1,05/1,1
8	4	25 % NaCl	2,5	42,0	3,5	1,4/1,2
9	1	3 % HCl	-	-	-	0,5/0,5
10	2	3 % HCl	-	-	-	0,8/0,5
11	3	3 % HCl	-	-	-	0,5/0,5
12	4	3 % HCl	-	-	-	0,6/0,4

Для $k_{\text{х.с.}}$ в числителе значение при растяжении; в знаменателе – при сжатии.

Проведенные исследования показали, что под действием растворов, содержащих ионы хлора, в цементном композите происходит разрушение гидросиликата и гидроксида кальция с образованием геля кремниевой кислоты и хлорида кальция. Поэтому одновременно развиваются два процесса – выщелачивания и кольматации. Кольматационный механизм коррозии цементного композита характерен для начального периода и приводит к временному повышению прочности, но затем начинает преобладать процесс лавинного выщелачивания. Снижение содержания в композите гидроксида кальция приводит к потере прочности и разрушению композита. Введением в состав композита микрокремнезема, пластификатора можно управлять процессом коррозии цементного камня, замедлять путем снижения скорости переноса агрессивной среды.

Показатели химического сопротивления, определенные экспериментально, дают возможность формировать на основе метода предельных состояний расчетные модели для оценки долговечности железобетонных изделий, работающих в водных растворах, содержащих ионы хлора.

Список литературы

1. Селяев, В.П. Химическое сопротивление наполненных цементных композитов / В.П. Селяев, В.И. Соломатов, Л.М. Ошкина; Рос. акад. архитектуры и строительных наук. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. – 150 с.
2. Прогнозирование долговечности железобетонных конструкций с учетом сульфатной коррозии бетона / В.П. Селяев [и др.] // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – №1. – С. 41–53.
3. Ратнер, С.Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность / С.Б. Ратнер, В.П. Ярцев. – М.: Химия, 1992. – 320 с.

References

1. Selyaev, V.P. The chemical resistance of cement-filled composites / V.P. Selyaev, V.I. Solomатов, L.M. Oshkina; RAABS. – Saransk: Publishing house of the muzzle. University Press, 2001. – 150 p.
2. Forecasting of durability of reinforced concrete structures based on sulfate corrosion of concrete / V.P. Selyaev [etc.] // Civil Engineering Journal. – 2014. – №1. – P. 41–53.
3. Ratner, S.B. Physical plastic mechanics. How to predict performance / S.B. Ratner, V.P. Yartsev. – M.: Chemistry, 1992. – 320 p.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Береговой Виталий Александрович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»
E-mail: vabereg@rambler.ru

Егунов Данила Анатольевич,
студент
E-mail: danike97@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Beregovoy Vitaliy Aleksandrovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Technology of building materials
and wood processing»
E-mail: vabereg@rambler.ru

Egunov Danila Anatolyevich,
Student
E-mail: danike97@mail.ru

СТРОИТЕЛЬНАЯ ДРЕВЕСИНА: ПАРАМЕТРЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ И СВОЙСТВА

В.А. Береговой, Д. А. Егунов

Рассмотрены технологические аспекты термического и химического модифицирования строительной древесины. Объектом исследования являлась древесина сосны, а управляющими факторами – органические модификаторы гидрофобного и гидрофильного типа, а также температура нагрева (190 ...230°C).

Ключевые слова: строительная древесина, способы модифицирования, сосна, физико-механические свойства

CONSTRUCTION WOOD: MODIFYING PARAMETERS AND PROPERTIES

V.A. Beregovoi, D.A. Egunov

Technological aspects of thermal and chemical modification of construction wood are discussed. The object of research was pine wood, and control factors – organic modifiers of hydrophobic and hydrophilic type and heating temperature from 190 to 230°C.

Keywords: construction wood, methods of modifying, pine wood, physical and mechanical properties

Введение. Строительная отрасль, являющаяся крупнейшим потребителем древесины, расходует более 50 % всего заготавливаемого в стране объема круглых лесоматериалов (205 млн м³, по данным на 2015 г). В процессе изготовления деревянные конструкции, эксплуатируемые в жестких погодных условиях при непосредственном воздействии атмосферных факторов, подвергаются обязательной глубокой пропитке антисептиками для эффективной защиты от биокоррозии (15...18 % от общего объема). С применением традиционных способов консервирования обрабатывают элементы судов, вагонов и памятники культуры, изготовленные из древесины.

К общим недостаткам, присущим обработанной древесине, относят ухудшение внешнего вида, коррозию стальных элементов, снижение адгезионной способности и качества механической обработки, негативное влияние на окружающую среду [1].

Современные способы модифицирования древесины позволяют достичь эффекта увеличения продолжительности срока эксплуатации за счет изменения гидрофизических свойств материала, при этом достигается постоянство размеров и формы изделий при перепадах влажности окружающей среды. Согласно действующим нормам различают пять основных способов модифицирования (рис. 1) [2, 3].

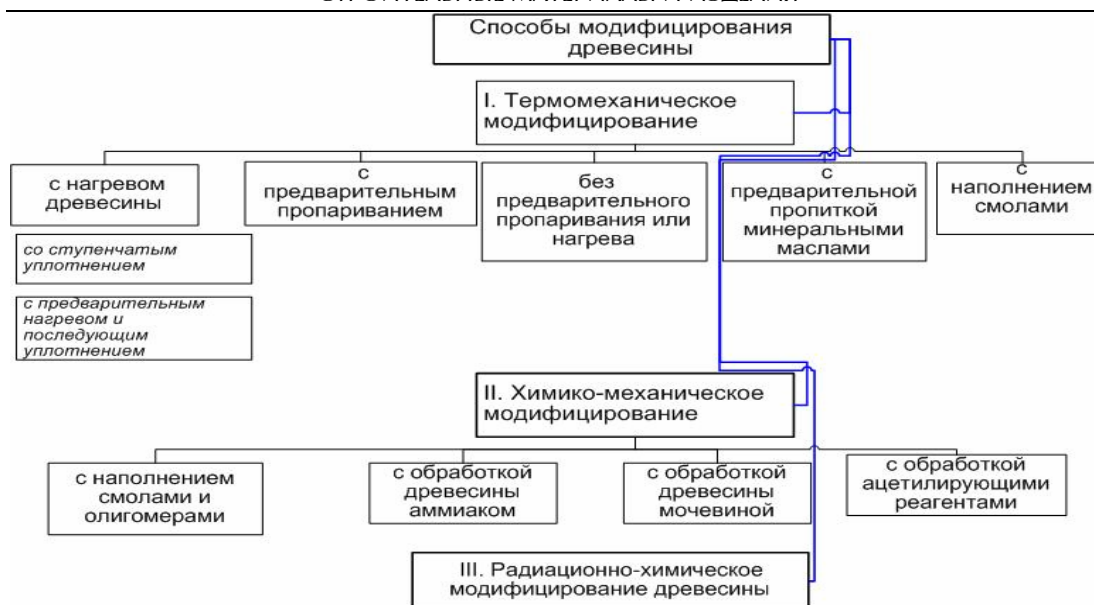
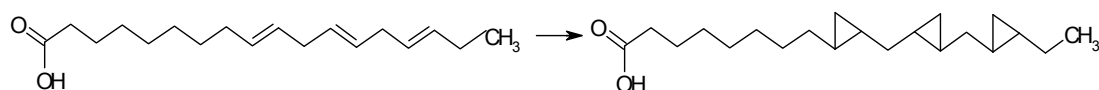


Рис. 1. Способы модифицирования древесины

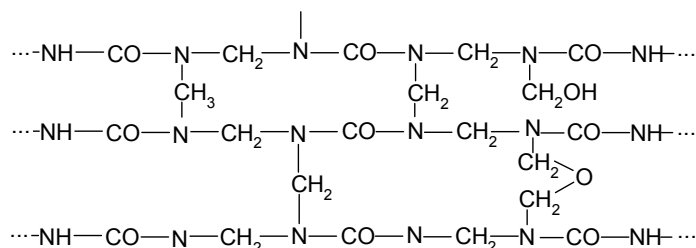
Выполнялись исследования влияния технологических особенностей проведения процессов термической и химической модификаций на свойства древесины. Объектом исследования являлась сосна обыкновенная, из которой вырабатывается большинство видов строительных деревянных конструкций.

Эксперимент 1 – обработка пропитывающими жидкостями. Для модифицирования контрольных образцов с размерами 2×2×3 см использовали технологический способ, основанный на пропитке жидкими синтетическими смолами (КФЖ-11), а также высыхающими маслами растительного происхождения (льняное масло). Пропитку производили по методу «горячих и холодных сред», который предусматривает поочередную экспозицию материала в емкостях с обрабатывающей жидкостью. Температура обрабатывающей среды при проведении эксперимента составляла 20 °С (холодная) и 55°С (горячая), а время выдержки – 30 мин. Пропитанные образцы высушивали при температуре 60 °С в течение 6 часов, что обеспечивало протекание процессов отверждения импергированных веществ.

Для пропиток на основе высыхающих растительных масел формирование отвержденного гидрофобного поверхностного слоя определяется процессом окислительной полимеризации органических веществ, который существенно ускоряется при контакте с горячим воздухом. Твердеющую основу льняного масла (~55 %) составляет одноосновная линоленовая кислота ($C_{18}H_{30}O_2$). При отверждении эта карбоновая кислота превращается в насыщенное соединение за счет раскрытия трех изолированных двойных связей [4].



В качестве катализатора отверждения КФЖ-11 использовали соль аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в количестве 2 % от массы смолы. Твердение карбаминоформальдегидной жидкости происходит путем образования поперечных связей между макромолекулами в результате взаимодействия по схеме



На рис. 2 приведены результаты испытаний модифицированных и контрольного составов.

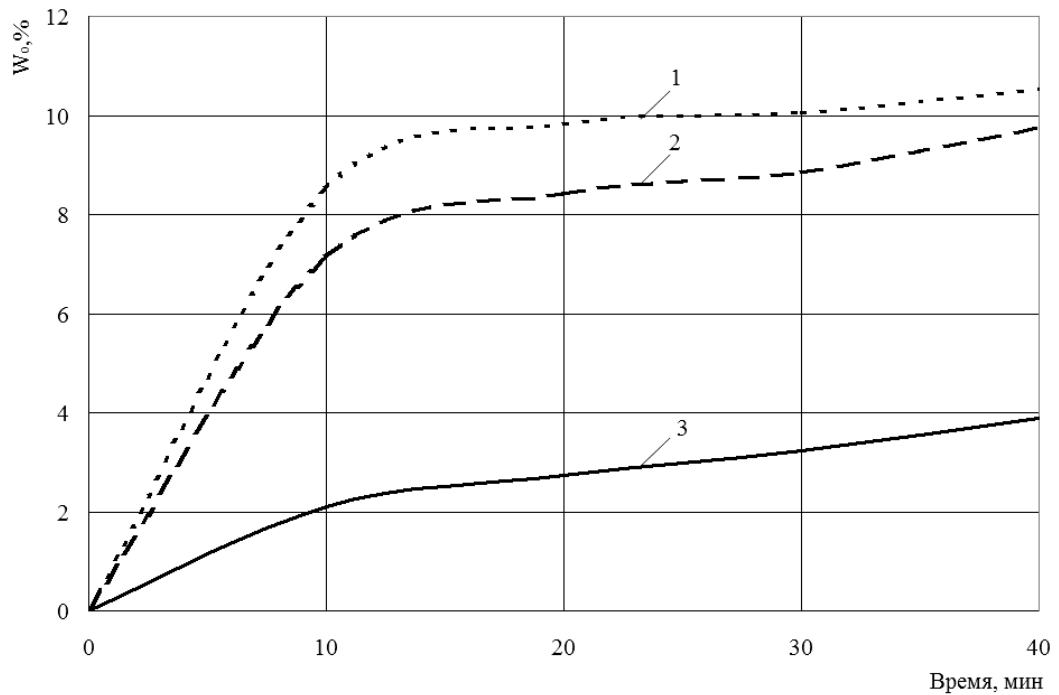


Рис. 2. Влияние модификатора на гидрофизические показатели древесины сосны:
1 – контрольный; 2 – КФЖ; 3 – льняное масло

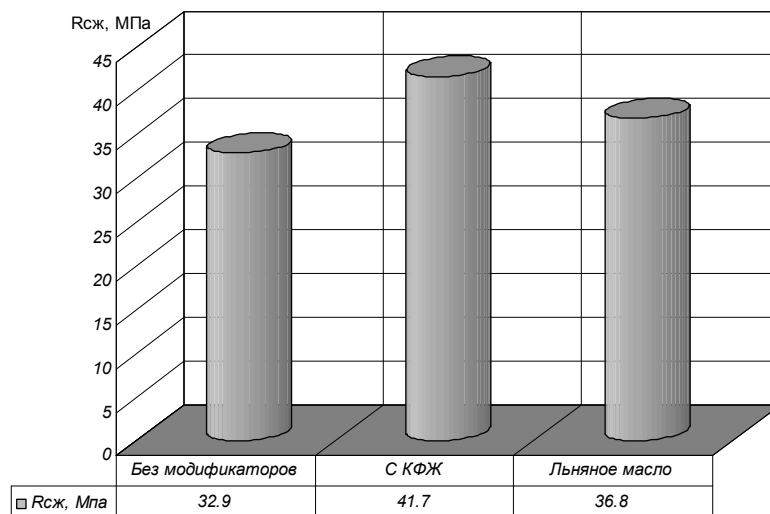


Рис. 3. Влияние модификатора на прочностные показатели древесины

Эксперимент 2 – термическое модифицирование древесины. Обработка древесины производилась путем ее нагрева в диапазоне температур 190...230°C с выдержкой в течение 4 часов. В результате изменения микроструктуры стенок клеток уменьшается количество гидроксильных групп в гемицеллюлозе, что позитивно отражается на показателях гигроскопичности древесины [1, 5].

На рис. 4 и 5 приведены результаты испытаний образцов термомодифицированной древесины.

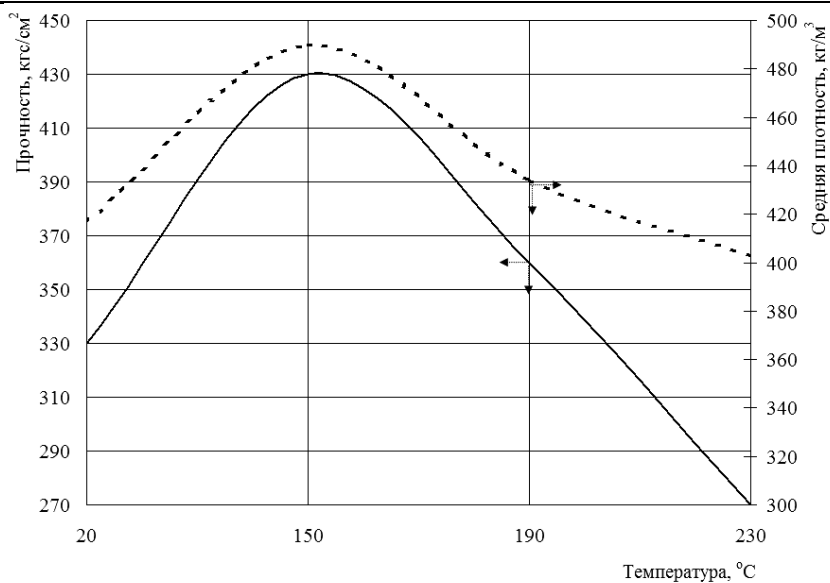


Рис. 4. Зависимость показателей плотности и прочности термомодифицированной древесины от температуры выдержки

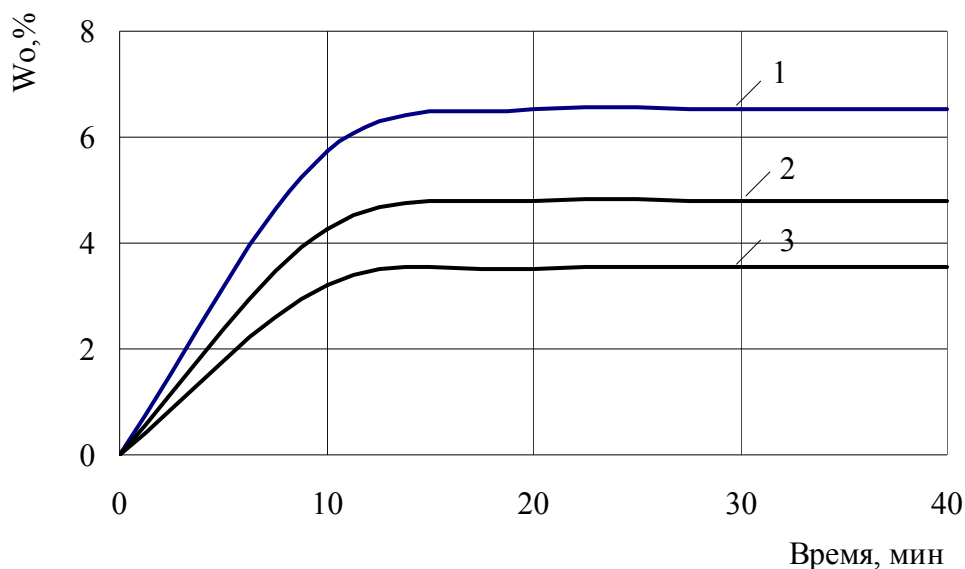


Рис. 5. Водопоглощение древесины, термомодифицированной при температуре, °C: 1 – 150; 2 – 190; 3 – 230

Начальный участок кривых водопоглощения имеет максимальный тангенс наклона, что указывает на впитывание воды с большой скоростью преимущественно порами крупных сечений [6]. По кинетическим кривым были определены параметры поровой структуры модифицированной древесины. Для этого кривые на рис. 5 аппроксимировались экспоненциальной функцией:

$$W_m = W_{\max} (1 - e^{-\bar{\lambda}t}), \quad (1)$$

где $W_{\max}$ – максимальное водопоглощение; $\bar{\lambda}$ – параметры поровой структуры; t – время.

Для зависимостей, приведенных на рис. 5, значения параметров уравнения (1) равны:

№ 1: $W_{\max}=7,1$; $\bar{\lambda} = 0,158$;

№ 2: $W_{\max}=5,3$; $\bar{\lambda}=0,153$;

№ 3: $W_{\max}=3,9$; $\bar{\lambda}=0,150$.

Выводы. Термомодифицированная при температуре 150°C древесина обладает улучшенными на 30 % прочностными и на 35 % гидрофизическими свойствами. Эффект снижения водопоглощения обработанной древесины в случае ее термомодификации больше, чем при пропитке льняным маслом (~5,5 %).

Высокие температуры при обработке древесины повышают ее сопротивляемость к процессам биокоррозии, что обусловлено как термическим разложением полисахаридов, так и пониженным сорбционным увлажнением термомодифицированной древесины. Это устраняет большинство условий, необходимых для развития опасных микроорганизмов.

Изменение состава гемицеллюлозы и лигнина, происходящее при термомодификации древесины, сопровождается изменением ее важных конструктивных качеств – повышается хрупкость и ухудшается сопротивление скалыванию, что необходимо учитывать при проектировании деревянных конструкций.

Список литературы

1. Налимов, Н. Термодревесина / Н. Налимов // ЛеспромИнформ. – 2008. – №9. – С.150–156.
2. ГОСТ 23944-80. Древесина модифицированная. Термины и определения. – М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1980. – 5 с.
3. ГОСТ 24329-80. Древесина модифицированная. Способы модифицирования. – М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1980. – 7 с.
4. Филатов, В.В. Реставрация настенной масляной живописи / В.В. Филатов. – М.: Изобразительное искусство, 1995. – 248 с.
5. Применение термомодифицированной древесины / М. Квиеткова, М. Гашпарик, М. Гафф, Е. Мифтиева // Деревообрабатывающая промышленность. – 2015. – С. 46–49.
6. Береговой, В.А. Эффективные пенокерамобетоны общестроительного и специального назначения: дис.... д-ра техн. наук: 05.23.05 / В.А. Береговой. – Пенза: ПГУАС, 2012.

References

1. Nalimov, N. ThermoWood / N. Nalimov // LesPromInform. – 2008. – No. 9. – P. 150–156.
2. GOST 23944-80. Wood modified. Terms and definitions. – M.: USSR state Committee for standards, 1980. – 5 p.
3. GOST 24329-80. Wood modified. Methods of modification. – M.: USSR state Committee for standards, 1980. – 7 p.
4. Filatov, V. Restoration of mural oil painting / V. Filatov. – M.: Graphic arts, 1995. – 248 p.
5. Application of thermomodification wood / M. Cvetkova, M. Gasparik, M. Gaff, E. Mehtieva // Wood industry. – 2015. – P. 46–49.
6. Beregovoy, V.A Effective foam-ceramic-concretes for general and special purpose: the dissertation ... doctors of technical sciences: 05.23.05 / V.A Beregovoy. – Penza: PGUAS, 2012.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Логанина Валентина Ивановна,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: loganin@mai.ru

Фролов Михаил Владимирович,
аспирант кафедры «Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: mihael-frolovv@yandex.ru

Рябов Максим Александрович,
студент
E-mail: mryabov58@gmail.com

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Loganina Valentina Ivanovna,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the department «Quality
management and construction technologies»
E-mail: loganin@mai.ru

Frolov Mikhail Vladimirovich,
Postgraduate student of the department
«Quality management and construction
technologies»
E-mail: mihael-frolovv@yandex.ru

Ryabov Maksim Aleksandrovich,
student
E-mail: mryabov58@gmail.com

ОЦЕНКА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО СОСТАВА ДЛЯ ОТДЕЛКИ ГАЗОБЕТОНА

В.И. Логанина, М.В. Фролов, М.А.Рябов

Произведена оценка трещиностойкости покрытий на основе теплоизоляционной известковой сухой строительной смеси, предназначенной для отделки газобетона. Показано, что покрытия на основе состава, в рецептуре которого в качестве высокопористого наполнителя использованы полые стеклянные микросферы, являются трещиностойкими. Определено оптимальное содержание полых стеклянных микросфер.

Ключевые слова: трещиностойкость, усадочные деформации, сухие строительные смеси, стеклянные полые микросферы, силикаты кальция, вспученный вермикулитовый песок, газобетон

EVALUATION OF FRACTURE TOUGHNESS OF HEAT-INSULATING COATINGS FOR AERATED CONCRETE FINISHING

V.I. Loganina, M.V. Frolov, M.A. Ryabov

Authors estimate fracture coatings based on lime insulating dry mortar designed for aerated finishing. It is shown that coating on the based of hollow glass microspheres used as highly porous filler are crack resistant. The optimal content of hollow glass microspheres is determined.

Keywords: crack resistance, shrinkage, dry mixes, glass hollow microspheres, calcium silicate, expanded vermiculite sand aerated concrete

Для отделки газобетона преимущественно используют сухие строительные смеси (ССС), позволяющие получить покрытия с низкой средней плотностью, теплопроводностью и высокой паропроницаемостью [1, 2]. В качестве наполнителя используются материалы, имеющие высокую открытую микропористость, – вспученный перлитовый песок, вспученный вермикулитовый песок и др. [3–5]. Покрытия, полученные с использованием таких СССР, характеризуются низкой трещиностойкостью. Главная причина возникновения трещин в покрытиях – значительные усадочные деформации, возникающие из-за высокой водопотребности наполнителей. Использование в каче-

стве наполнителя в составе ССС для отделки газобетона полых стеклянных микросфер позволит уменьшить водопотребность отделочного состава, что должно привести к снижению усадочных деформаций получаемого покрытия.

Предварительно проведенные нами исследования позволяют рекомендовать для отделки газобетона ССС следующего состава: известь-пушонка, модифицирующая добавка, белый цемент, молотые отходы производства газобетона, ретардированный порошок, пластифицирующая добавка, гидрофобизатор, легкий высокопористый наполнитель [6, 7]. Для повышения долговечности отделочных составов в их рецептуру вводится модифицирующая добавка на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция в количестве 10 % от массы извести [8].

В работе приведены результаты оценки водопотребности разрабатываемой ССС и трещиностойкости покрытий на основе данного состава. В качестве наполнителей использовались:

- стеклянные полые микросферы, имеющие насыпную плотность 130 кг/м^3 , диаметр частиц до 100 мкм, толщина стенки пор 1...3 мкм;
- вспученный вермикулитовый песок, имеющий насыпную плотность 150 кг/м^3 , влажность по массе не более 3 %, диаметр частиц 0,14...1,25 мм.

Оценивалось влияние наполнителей на водопотребность разрабатываемого отделочного состава. Готовились равнопластичные составы с различным содержанием наполнителей. С помощью конического пластометра КП-3 определялось предельное напряжение сдвига. Результаты исследований приведены на рис. 1.

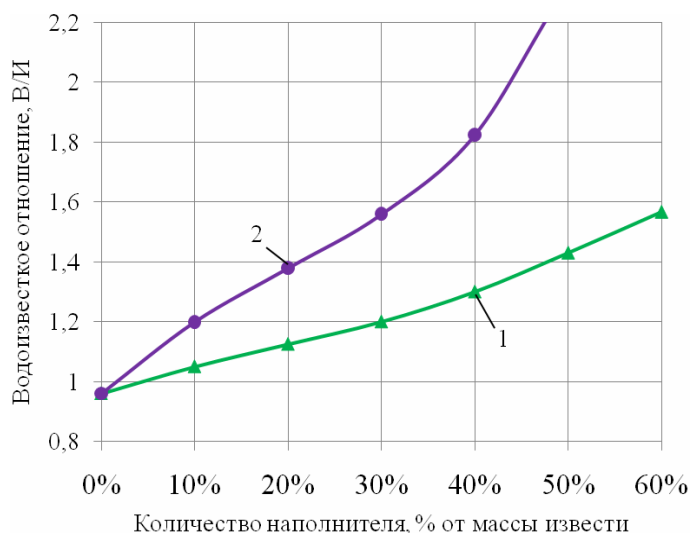


Рис. 1. Водопотребность различных равнопластичных составов:
1 – стеклянные полые микросферы; 2 – вспученный вермикулитовый песок

Установлено, что контрольный состав (без наполнителей) при водоизвестковом отношении, равном $В/И=0,96$, имеет пластическую прочность, равную $\tau=2 \text{ кПа}$. При использовании вспученного вермикулитового песка в количестве 30 % от массы извести водоизвестковое отношение составляет $В/И=1,562$ (рис. 1, кривая 2), при использовании полых стеклянных микросфер в количестве 30 % от массы извести водоизвестковое отношение составляет $В/И=1,2$ (рис. 1, кривая 1). Высокая водопотребность составов, полученных с использованием вспученного вермикулитового песка, объясняется высокой открытой микропористостью частиц данного наполнителя, благодаря чему они активно впитывают воду.

Трещиностойкость покрытий оценивалась по значениям усадочных деформаций и значению предельной растяжимости.

Определялись усадочные деформации $\epsilon_{ус}$ в процессе отверждения покрытий при температуре $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $\phi = 50\text{--}55 \text{ \%}$. Измерение усадочных деформаций образцов проводилось с помощью оптического компаратора ИЗА-2. Результаты исследований представлены на рис. 2.

Установлено, что наиболее интенсивный рост усадочных деформаций образцов с применением стеклянных полых микросфер в количестве 40 % от массы извести происходит в течение первых шести суток твердения, после чего наблюдается стабилизация (рис. 2, кривая 2). У образцов с применением вспученного вермикулитового песка в количестве 40 % от массы извести стабилизация роста усадочных деформаций наблюдается только после 11 суток твердения (рис. 2, кривая 4). При одинаковом содержании наполнителей у композитов, наполненных вспученным вермикулитовым песком, усадочные деформации значительно выше и спустя 90 суток они составляют $\varepsilon_{yc} = 1,30$ мм/м. Усадка композитов, наполненных стеклянными полыми микросферами в количестве 40 % от массы извести, ниже и спустя 90 суток составляет $\varepsilon_{yc} = 0,615$ мм/м.

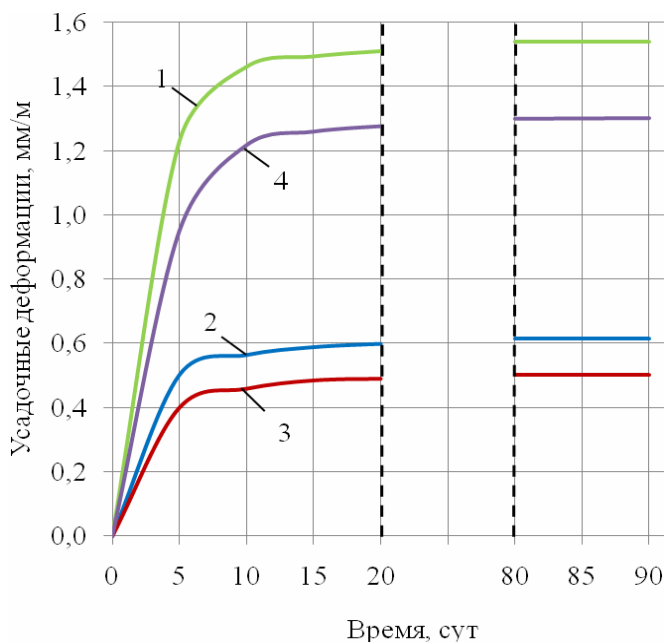


Рис. 2. Изменения усадочных деформаций покрытия на основе разрабатываемых составов: 1 – стеклянные полые микросферы в количестве 20 % от массы извести; 2 – стеклянные полые микросферы в количестве 40 % от массы извести; 3 – стеклянные полые микросферы в количестве 60 % от массы извести; 4 – вспученный вермикулитовый песок в количестве 40 % от массы извести

Определение значений предельной растяжимости и когезионной прочности образцов покрытий проводилось на разрывной машине ИР 5057-50. Размеры испытываемых образцов составляли 10×10×50 мм, скорость деформирования 1 мм/мин. Испытания проводились при температуре воздуха 20 ± 2 °С и относительной влажности воздуха 50-55 % после 28 суток воздушно-сухого твердения. Результаты экспериментов представлены на рис. 3.

Установлено, что образцы покрытий на основе состава, наполненного вспученным вермикулитовым песком, характеризуются наименьшей прочностью при растяжении, составляющей $R_{kog}=0,38$ МПа (рис. 3, кривая 4). К снижению прочности композитов, на наш взгляд, приводит также и неравномерное распределение концентраций напряжений вокруг частиц наполнителя из-за его сложной неизометрической формы. Наибольшую прочность показали образцы на основе состава, наполненного стеклянными полыми микросферами в количестве 20 % от массы извести, – $R_{kog}=0,90$ МПа (рис. 3, кривая 1).

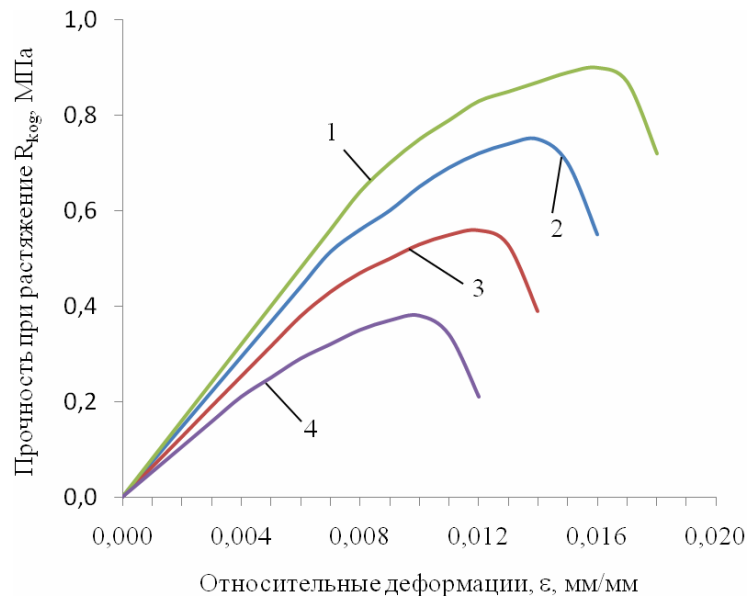


Рис. 3. Изменение относительных деформаций при растяжении образцов разрабатываемых составов:

1 – стеклянные полые микросферы в количестве 20 % от массы извести; 2 – стеклянные полые микросферы в количестве 40 % от массы извести; 3 – стеклянные полые микросферы в количестве 60 % от массы извести; 4 – вспученный вермикулитовый песок в количестве 40 % от массы извести

Для оценки трещиностойкости покрытий применяли коэффициент трещиностойкости $K_{тр}$, определяемый по формуле

$$K_{тр} = \frac{\varepsilon_{пред}}{\varepsilon_{ус}}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{полн}$ – предельная растяжимость, мм/мм; $\varepsilon_{ус}$ – усадочные деформации в процессе твердения, мм/мм.

Деформативные свойства покрытий на основе разрабатываемого состава ССС приведены в таблице.

Деформативные свойства покрытий

Вид наполнителя и содержание наполнителя в % от массы извести	Относительные деформации			Модуль упругости при растяжении $E_{упр}$, МПа	Прочность при растяжении R_{kog} , МПа	Коэффициент трещиностойкости $K_{тр}$
	$\varepsilon_{упр}$, мм/мм	$\varepsilon_{пл}$, мм/мм	$\varepsilon_{пред}$, мм/мм			
40 % вспученный вермикулитовый песок	0,004	0,008	0,012	52,50	0,38	9,21
20 % стеклянные полые микросферы	0,008	0,010	0,018	80,00	0,90	11,7
40 % стеклянные полые микросферы	0,007	0,009	0,016	73,33	0,75	26,1
60 % стеклянные полые микросферы	0,006	0,008	0,014	63,17	0,56	27,9

Данные, приведенные в таблице, свидетельствуют, что покрытия, наполненные вспученным вермикулитовым песком, характеризуются наименьшей трещиностойкостью. Наибольшее значение коэффициента трещиностойкости $K_{тр}$ получено для покрытий, наполненных стеклянными полыми микросферами в количестве 60 % от массы извести. Учитывая требования [9], для отделки газобетона рекомендуется составы, содержащие стеклянные полые микросферы в количестве 40 % от массы извести. При данном содержании полых стеклянных микросфер отделочное покрытие обладает высокой трещиностойкостью и средней плотностью, близкой к средней плотности газобетонных блоков марок D500 и D600.

Список литературы

1. Гринфельд, Г.И. Инженерные решения обеспечения энергоэффективности зданий. Отделка кладки из автоклавного газобетона / Г.И. Гринфельд. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 130 с.
2. Ватин, В.И. Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков / В.И. Ватин, А.С. Горшков, А.В. Глумов // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – №1. – С.28–33.
3. Трофимов, Б.Я. Теплоизоляционные штукатурные растворы с вермикулитовым заполнителем / Б.Я. Трофимов, Р.Я. Ахтямов, Р.М. Ахмедьянов // Цемент и его применение. – 2002. – № 6. – С. 16–19.
4. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ / В.С. Лесовик [и др.] // Строительные материалы. – 2014. – №7 – С. 82–85.
5. Нациевский, С.Ю. Производство сухих строительных смесей с применением вспученного перлита / С.Ю. Нациевский, Л.В. Алексеева // Сухие строительные смеси. – 2012. – № 6. – С. 26–27.
6. Известковый состав для отделки стен зданий из газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов, М.А. Рябов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2016. – №2. – С.33–37.
7. Логанина, В.И. Теплоизоляционные известковые сухие строительные смеси для отделки стен из газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов, М.А. Рябов // Вестник МГСУ. – 2016. – №5. – С.82–92.
8. Логанина, В.И. Тонкодисперсный наполнитель на основе силикатов кальция для известковых смесей / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – №5. – С.144–147.
9. Руководство по наружной отделке стен из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения. – Белгород: Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона, 2010. – 5 с.

References

1. Greenfield, G.I. Engineering solutions for energy efficiency of buildings. Finish the masonry of autoclaved aerated concrete / G.I. Greenfield. – St. Petersburg: Ltd Polytechnic university, 2011. – 130 p.
2. Batting, V.I. Effect of physical, technical and geometrical characteristics of plasters on the walls of homogeneous humidity conditions of concrete blocks / V.I. Batting, A.S. Gorshkov, A.V. Glumov // Civil Engineering Journal. – 2011. – No 1. – P.28–33.
3. Trofimov, B.Ja. Thermal insulating plasters with vermiculite filler / B.Ja. Trofimov, R.Ja. Ahtjamov, R.M. Ahmed'janov // Cement and its applications. – 2002. – No 6. – P. 16–19.
4. Effective dry mixes for repair and restoration works / V.S. Lesovik [etc.] // Construction Materials. – 2014. – No 7. – P. 82–85.
5. Nacievskij, S.Ju. Production of dry mixes with expanded perlite / S.Ju. Nacievskij, L.V. Alekseeva // Dry mixes. – 2012. – No 6. – P. 26–27.

6. Loganina, V.I. Lime composition for the walls of buildings made of aerated concrete / V.I. Loganina, M.V. Frolov, M.A. Ryabov // Fine dispersion filler based on calcium silicates for lime mixes. – 2016. – No.2. – P.33–37.
7. Loganina V.I., Frolov M.V., Ryabov M.A. Insulation lime dry mixes for the walls of aerated concrete / V.I. Loganina, M.V. Frolov, M.A. Ryabov // Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering. – 2016. – No. 5. – P.82–92.
8. Loganina, V.I. The fine filler based on calcium silicate for lime blends / V.I. Loganina, M.V. Frolov // Bulletin of Civil Engineers. – 2015. – No 5. – P.144–147.
9. Guidelines for outer wall decoration from cellular concrete blocks autoclaved. – Belgorod: National Association of autoclaved aerated concrete, 2010. – P. 5.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

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

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

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

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

АНАЛИЗ ИЕРАРХИЙ В СИНТЕЗЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Предлагается методика синтеза строительных материалов как сложных многокритериальных систем на основе анализа иерархий. Уменьшение размерности критериального пространства основано на методе главных компонент. При синтезе композиционного материала используется иерархическая структура, разработанная на основе его когнитивного моделирования.

Ключевые слова: сложные системы, строительные материалы, иерархическая структура, методы анализа, синтез, схема

ANALYSIS OF HIERARCHIES IN THE SYNTHESIS OF BUILDING MATERIALS

A.M. Danilov, I.A. Garkina

Methods of synthesis building materials as multi-criteria complex systems using the method of hierarchy analysis are proposed. Reducing the dimension of the criterion space is based on the method of principal components. In the synthesis of the composite material the hierarchical structure developed on its cognitive modeling is used.

Keywords: complex systems, building materials, the hierarchical structure, methods of analysis, synthesis, scheme

Анализ иерархий [1, 2] в последнее время становится одним из важных инструментов синтеза сложных систем различного назначения, в том числе и строительных материалов с соответствующими системными атрибутами [3–5]. Он позволяет представить сложную проблему принятия решений в виде иерархической структуры с возможностью количественной оценки альтернативных вариантов решения.

В иерархической структуре на интуитивном уровне указываются главная цель (вершина иерархии), множество вариантов достижения цели (альтернативы – элементы нижнего уровня). Далее определяются приоритеты (безразмерные, изменяются от нуля до единицы; позволяют сравнивать разнородные факторы) и относительная важность (предпочтительность) каждого из элементов построенной иерархической структуры (например, с использованием процедуры парных сравнений). Ниже без дополнительных оговорок предполагается выполнение условий, позволяющих использование метода анализа иерархий. Чем больше величина приоритета, тем более

значимым является соответствующий ему элемент. Сумма приоритетов элементов, подчиненных одному элементу вышележащего уровня иерархии, равна единице. Приоритет цели равен единице. Предполагается возможность изменения структуры иерархии для включения в неё вновь появившихся (ранее не считавшихся важными) критериев и альтернатив.

Анализ и синтез сложных систем практически любой природы связаны с решением проблемы многокритериальности [6–8]. Заключение об эффективности функционирования сложных систем невозможно сделать на основании регистрации какого-либо одного показателя. Оценка, как правило, является многокритериальной и не сводится к стандартной оценке качества по одному критерию. Предполагается, что множеством критериев полностью определяется качество системы. Задания всей совокупности критериев часто недостаточно для выделения важнейшего: необходима дополнительная информация об относительной важности каждого из них. Это относится и к строительному материаловедению. Обычно большинство авторов ограничивается лишь однокритериальной оптимизацией.

Обычно критериями $K_i, i = \overline{1, n}$ являются некоторые числовые функции, заданные на множестве стратегий управления (при синтезе композитов под управлением понимается управление рецептурно-технологическими параметрами). Без нарушения общности рассуждений будем полагать, что по каждому из критериев качество системы тем выше, чем больше значение критерия (если не оговорено противное). Считается, что стратегия u предпочтительнее стратегии v , если справедливы неравенства

$$K_i(u) \geq K_i(v), i = \overline{1, n}.$$

Предполагается, что хотя бы одно из неравенств – строгое. Если $K_i(u) = K_i(v)$, то стратегии u и v считаются одинаковыми по качеству.

В итоге управление качеством материала производится на основе совокупности экспериментально определенных основных свойств. Требуемое число элементов этой совокупности устанавливается исходя из дифференциального порога при выделении классов качества (с обеспечением необходимого уровня соотношения сигнал/шум). Как правило, частные критерии (оценка полноты их множества носит субъективный характер) являются противоречивыми и зависимыми.

Для снижения размерности задач нами использовались методы оценки качества материала, позволяющие одновременно определить собственно совокупность независимых частных критериев. Для этого методом главных компонент К.Пирсона определялся многомерный эллипсоид рассеяния эмпирических данных в факторном пространстве: расположение и длины полуосей (главные направления и стандартные отклонения в пространстве главных направлений).

Первая главная компонента определяется как направление наибольшего изменения (разброса вдоль некоторой центральной оси – новой переменной) данных $\mathbf{q} = \|q_{ij}\|, i = \overline{1, p}, j = \overline{1, n}$ в декартовой системе координат $Oq_1q_2\dots q_p$ (приближенно – чисто геометрически; уточнение – на основе наилучшей линейной аппроксимации всех исходных точек q_{ij} методом наименьших квадратов). Вторая главная компонента по определению принимается ортогональной направлению первой (вдоль нее происходит следующее по величине изменение значений q_{ij}), а третья компонента – перпендикулярной как первой, так и второй (лежит в направлении, в котором происходит третье по величине изменение данных). Аналогично определяются последующие главные направления. Полученная система главных компонент дает совокупность ортогональных осей, каждая из которых лежит в направлении максимального изменения данных в порядке убывания этих величин. В силу ортогональности главных компонент в полученном новом наборе переменные – линейные комбинации исходных переменных уже не коррелируют друг с другом. Переход от исходной декартовой

системы координат к новому набору ортогональных осей позволяет избавиться от зависимости между критериями. Верхний предел числа главных компонент не превышает $\max\{n-1, p\}$. Эффективная размерность пространства главных компонент определяется рангом матрицы $\mathbf{q} = \|q_{ij}\|$. Последняя главная компонента лежит в направлении, в котором разница между образцами будет минимальной (фактически различение образцов здесь невозможно, так как все эти отличия есть лишь случайный шум). Главные компоненты с большими номерами рассматриваются как направления, в которых основная составляющая является шумом. Каждое из свойств (критериев качества) является интегральной характеристикой материала, зависящей от свойств компонентов, состава, условий приготовления, твердения и т.д.

Так, оценка качества особо прочного бетона со специальными свойствами производилась по совокупности как зависимых, так и противоречивых критериев (химическая стойкость, морозо-, термостойкость, сопротивление удару и истиранию, радиационный разогрев, адгезионные свойства, защитные свойства по отношению к стальной арматуре и др.). А именно для выборки $\{x_{ui}\}$, $i = \overline{1, k}$, $u = \overline{1, N}$ значений первичных признаков (k – число признаков, N – число измерений) последовательно выполнялись указанные ниже процедуры.

1. Центрирование признаков (частных критериев):

$$\xi_{ui} = x_{ui} - \bar{x}_i, \quad i = \overline{1, k}, \quad u = \overline{1, N},$$

где $\bar{x}_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{ui}$ – выборочное среднее i -го признака.

2. Определение матрицы ковариаций:

$$C = (c_{ij}) = \Xi^T \Xi,$$

где $\Xi = (\xi_{ui})$ – матрица центрированных признаков.

3. Определение собственных значений λ_i и собственных векторов матрицы ковариаций (всегда имеет k действительных неотрицательных собственных значений, включая кратные).

4. Сортировка собственных векторов в порядке убывания собственных значений. Единичные собственные векторы, определяющие главные направления, составляют строки матрицы k -го порядка L . Линейный однородный оператор с матрицей L осуществляет преобразование исходных центрированных данных в некоррелированные и с убывающими дисперсиями.

В числе приоритетных критериев выделялись: прочность, плотность и пористость материала. Использовались полученные методами математического планирования эксперимента зависимости пористости $q_1(x_1, x_2)$, %, прочности при сжатии $q_2(x_1, x_2)$, МПа и плотности $q_3(x_1, x_2)$, кг/м³ от кодированных объемных долей заполнителя (свинцовая дробь с диаметром 4–5 мм) $x_1 \in [0,5; 0,6]$ и наполнителя (барит, $S_{уд} = 250$ м²/кг) $x_2 \in [0,35; 0,4]$:

$$q_1(x_1, x_2) = 5,18 + 3,44x_1 + 0,96x_2 - 1,33x_1x_2 + 3,83x_1^2;$$

$$q_2(x_1, x_2) = 22,5 - 3,72x_1 + 1,43x_2 - 2,87x_1^2;$$

$$q_3(x_1, x_2) = 7143 - 147x_1 - 181,7x_1^2.$$

Матрица ковариаций, полученная по экспериментальным значениям ξ_{ui} перечисленных показателей, имеет вид:

$$C = \frac{1}{N-1} (\xi_{ui})^T (\xi_{ui}) = \begin{pmatrix} 0,169 & 0,023 & -1,35 \\ 0,023 & 0,220 & 0,149 \\ -1,35 & 0,149 & 21,5 \end{pmatrix};$$

собственные значения λ_i и собственные векторы $\mathbf{v}_i$ матрицы ковариаций:

$$\lambda_1 = 0,226, \mathbf{v}_1 = (0,221; 0,975; 0);$$

$$\lambda_2 = 0,077, \mathbf{v}_2 = (0,973; -0,221; 0,063);$$

$$\lambda_3 = 21,6, \mathbf{v}_3 = (-0,063; 0; 0,998).$$

Матрица перехода к главным компонентам $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$ имеет вид:

$$L = \begin{pmatrix} -0,063 & 0 & 0,998 \\ 0,221 & 0,975 & 0 \\ 0,973 & -0,021 & 0,063 \end{pmatrix};$$

главные компоненты связаны с исходными показателями q_1, q_2, q_3 линейно:

$$\Gamma_1 = -0,063q_1 + 0,990q_3,$$

$$\Gamma_2 = 0,221q_1 - 0,975q_2,$$

$$\Gamma_3 = 0,973q_1 - 0,021q_2 + 0,063q_3.$$

В силу $\lambda_3 \gg \lambda_1$ и $\lambda_3 \gg \lambda_2$ значимая главная компонента единственна и соответствует главному направлению $\mathbf{v}_3$; вектор первого главного направления образует малый угол с осью третьей исходной переменной. Доминирующим является средняя плотность (третий показатель).

В некоторых случаях возможна оценка процесса или системы по некоторому обобщенному глобальному критерию качества K , являющемуся некоторой функцией частных критериев K_i . При такой оценке обычно используются два метода. В первом оценка сводится к решению задачи с ограничениями, имеющей две модификации. В первой из всего множества критериев выделяется основной критерий K_m , по которому и проводится оценка качества; остальные критерии $K_i, i \neq m$, ограничиваются условиями: «не меньше, чем» или «не больше, чем». Во второй множество критериев представляется в виде упорядоченного по степени важности множества, а затем проводится последовательная оценка качества. Критерий оптимальности из всего множества критериев выбирается субъективно. Второй метод состоит в формировании глобального критерия качества в виде суммы частных, взятых со своими весовыми коэффициентами (эффективность зависит от степени объективности этих констант). Нормализация (приведение критериев к единой мере) частных критериев связана с различными размерностями частных критериев (может проводиться с учетом оптимального значения K_{i0} для каждого частного критерия и определения отклонений $K_i - K_{i0}$). Успешное решение проблемы нормализации зависит от того, насколько точно определены оптимальные значения частных критериев. При выборе весовых констант α_i в глобальном аддитивном критерии $K = \sum_{i=1}^n \alpha_i K_i$ использовалась итерационная процедура (при заданных значениях начальных весов $\alpha_i^{(0)}$ вычисляется интегральная оценка $K = \sum_{i=1}^n \alpha_i^{(0)} K_i$; определяются коэффициенты корреляции част-

ных критериев качества K_i с глобальным критерием K и уточняются значения весовых констант $\alpha_i^1 = \frac{\rho_i}{\sum_{i=1}^n \rho_i}$, $i = \overline{1, n}$ и значений $K^{(1)} = \sum_{i=1}^n \alpha_i^{(1)} K_i$ и т.д.). Итерационная

процедура осуществляется до выполнения условия $|\alpha_i^{(l)} - \alpha_i^{(l-1)}| < \varepsilon$, $i = \overline{1, n}$. В ре-

зультате будет получена оценка $K^{(l)} = \sum_{i=1}^n \alpha_i^{(l)} K_i$. Найденные таким образом значения

весовых констант не зависят от их начальных значений $\alpha_i^{(0)}$, а определяются только долей участия частных критериев K_i в глобальном критерии качества K . В частности, при оценке качества композита в качестве частных критериев K_i использовались свойства: прочность, твердость, реологические свойства и т.д.

Иерархическая структура композита [9,10] строилась на основе его когнитивного моделирования [11]. При параметрической оптимизации композита использовалась приведенная в [12] схема синтеза. Была подтверждена эффективность предложенного подхода.

Список литературы

1. Saaty, Thomas L. Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors – The Analytic Hierarchy / Thomas L. Saaty // Network Process / Review of the Royal Spanish Academy of Sciences. Series A. Mathematics. – 2008. – Vol.102 (2). – P. 251–318.
2. Подиновский, В.В. О некорректности метода анализа иерархий / В.В. Подиновский, О.В. Подиновская // Математические проблемы управления. – 2011. – №1. – С.8–13.
3. Garkina, I.A. Materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Selyaev // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11(11). – P. 2461–2464. – DOI: 10.3923/jeasci.2016.2524.2527
4. Garkina, I.A. Modeling of Building Materials as Complex Systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, Y.P. Skachkov // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 730. – P. 412–417. (10.4028/www.scientific.net/KEM.730.412)
5. Budylna, E. Control of multiobjective complex systems / E. Budylna, A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8, No. 10. – P. 441–445. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5276>
6. Garkina, I.A. Analytical design of building materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Journal of Basic and Applied Research International. – 2016. – Vol.18. – Issue 2. – P. 95–99.
7. Garkina, I.A. Principles of Optimal Control in the Synthesis of Composite Materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Selyaev // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 723. – P.32–36.
8. Данилов, А.М. Принципы проектирования строительных материалов для агропромышленного комплекса / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, А.В. Ключев // Успехи современной науки. – 2016. – №10. – Т. 2. – С.150–155.
9. Danilov, A.M. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – No. 5. – P. 219–225.
10. Garkina, I.A. Modeling of kinetic processes in composite materials / I.A. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – No. 10. – P. 421–425.
11. Гарькина, И.А. Когнитивное моделирование при синтезе композиционных материалов как сложных систем / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2009. – № 3–4. – С. 30–37.

12. Данилов, А.М. Методология проектирования сложных систем при разработке материалов специального назначения / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 1. – С. 80–85.

References

1. Saaty, Thomas L. Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors – The Analytic Hierarchy / Thomas L. Saaty // Network Process / Review of the Royal Spanish Academy of Sciences. Series A. Mathematics. – 2008. – Vol.102 (2). – P. 251–318.
2. Podinovski, V.V. On the impropriety of the method of analysis of hierarchies / V.V. Podinovski, O.V. Podinovskaya // Mathematical problems of control. – 2011. – №1. – P.8–13.
3. Garkina, I.A. Materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Selyaev // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11(11). – P. 2461–2464. – DOI: 10.3923/jeasci.2016.2524.2527
4. Garkina, I.A. Modeling of Building Materials as Complex Systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, Y.P. Skachkov // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 730. – P. 412–417. (10.4028/www.scientific.net/KEM.730.412)
5. Budylnina, E. Control of multiobjective complex systems / E. Budylnina, A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8, No. 10. – P. 441–445. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5276>
6. Garkina, I.A. Analytical design of building materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Journal of Basic and Applied Research International. – 2016. – Vol.18. – Issue 2. – P. 95–99.
7. Garkina, I.A. Principles of Optimal Control in the Synthesis of Composite Materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Selyaev // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 723. – P.32–36.
8. Danilov, A.M. The principles of designing of construction materials for agro-industrial complex / A.M. Danilov, I.A. Garkina, A.V. Klyuev // Achievements of modern science. – 2016. – №. 10. – Vol. 2. – P. 150–155.
9. Danilov, A.M. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A.M. Danilov, I.A. Garkina / Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – No. 5. – P. 219–225.
10. Garkina, I.A. Modeling of kinetic processes in composite materials / I.A. Garkina / Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – No. 10. – P. 421–425.
11. Garkina, I.A. Cognitive modeling at synthesis of composite materials as difficult systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev // News of higher educational institutions. Construction. – 2009. – No. 3–4. – P. 30–37.
12. Danilov, A.M. Methodology of design of difficult systems when developing materials of a special purpose / A.M. Danilov, I.A. Garkina // News of higher educational institutions. Construction. – 2011. – No. 1. – P. 80–85.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

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

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

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

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

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Исходя из основных положений системного анализа, рассматриваются состояние и перспективы использования аналитических методов разработки строительных материалов на основе математического и компьютерного моделирования.

Ключевые слова: строительное материаловедение, комплексное исследование, системный анализ, математическое и компьютерное моделирование, методы

CONSTRUCTION MATERIALS SCIENCE: COMPLEX RESEARCHES, SYSTEM ANALYSIS

A.M. Danilov, I.A. Garkina

From basic statements of the system analysis, the state and the prospects of the use of analytical methods of development of building materials on the basis of mathematical and computer modeling are considered.

Keywords: construction materials science, complex research, system analysis, mathematical and computer modeling, methods

Основная проблема синтеза сложных систем (например, строительных материалов) связана с усиливающейся фрагментацией знаний. Необходим аппарат синтеза, основанный на интеграции междисциплинарных категорий с его развитием до уровня математической теории, в основе которой лежит идеальный объект, заданный в системе аксиом и способный выходить на уровень приложений в разных областях.

Проанализируем с позиций системного анализа результаты комплексных исследований научных и технических проблем, связанных с разработкой материалов специального назначения с заданным комплексом эксплуатационных свойств: математическое моделирование, вычислительный эксперимент, разработка методов и алгоритмов структурно-параметрического синтеза.

При разработке композиционных материалов производится установление взаимосвязи состава, технологии производства, а также его структуры и свойств. Композиционный материал рассматривается как сложная система, состоящая из элементов различного уровня детализации: от атомного до отдельного процесса. Так как сущность

системы нельзя понять, рассматривая только свойства элементов, то ограничиваются изучением способов взаимодействия элементов, а также элементов и системы с окружающей средой (анализ отдельных стадий процесса без выявления взаимосвязи между ними и с окружающей средой не дает возможности судить обо всем технологическом процессе). Так, массоперенос вещества осуществляется на нескольких технологических переделах: при химической реакции взаимодействия вяжущего с активатором; при перемешивании компонентов; тепловой обработке и др. При создании радиационно-защитных композиционных материалов на основе анализа технологического процесса выделялись несколько уровней иерархии с отношениями подчиненности. Исходя из иерархической структуры критериев качества, строилась иерархическая структура композита. По существу, разработка методологических принципов синтеза композиционных материалов напрямую связана с разработкой указанных иерархических структур. Последовательное решение указанных задач (структурная и параметрическая идентификация, разработка функционалов качества, определение интегративных свойств систем) возможно с использованием автономных исследований сепаратных подсистем, введением настраиваемых эталонных моделей с одновременной децентрализацией модулей по входам. Качественный анализ материалов как систем позволяет построить когнитивную карту с указанием причинно-следственных связей.

До настоящего времени, по существу, имеются разночтения в определении понятия «структура»: возникают трудности классификации и установления параметров оптимальной структуры композита. Традиционно классификация структуры бетона производится с учетом его плотности, и выделяются четыре основных типа (плотная, с пористым заполнителем, ячеистая и зернистая). При масштабной классификации говорят о макро- и микроструктуре. В некоторых случаях выделяются пять масштабных уровней: субмикроскопический (атомно-молекулярный), $< 10^{-7}$ см, микроскопический (коллоидно-дисперсный, $10^{-7} \dots 10^{-5}$ см), мезоскопический (пылевидные фракции, $10^{-5} \dots 0,014$ см), макроскопический (песчаная фракция, $0,014 \dots 0,5$ см), мегаскопический (гравийно-щебенистая фракция, $> 0,5$ см). Оптимизация каждого структурного уровня осуществляется на основе выделенных критериев (управление свойствами субмикроструктуры – на атомарном или молекулярном уровнях; для композитов на основе вяжущих веществ, не содержащих дисперсных фаз, выделяется уровень микроструктуры; для каркасных бетонов дополнительно рассматривается уровень каркаса, а также мезоструктура (пропиточная композиция) и макроуровень (бетон)). На каждом последующем структурном уровне (новый материал) оптимизированная рецептура, а также технология предыдущего уровня уточняются. Последовательное совмещение уровней (от микро- до макроструктуры) осуществляется на основе критериев (свойств), обеспечивающих получение качественного композиционного материала на уровне макроструктуры (продукта технологии).

Традиционно определение оптимальной структуры композитов осуществляется по И.А. Рыбьеву (оптимальной структуре (организации) в зависимости от соотношения в материале скрепляющей фазы и заполнителя (фазовое отношение) соответствует комплекс экстремальных значений свойств (закон «створа»)). Во многих случаях возможно выделение у композитов различных уровней и типов взаимосвязей между ними (последовательное включение систем более низкого уровня в системы более высокого уровня). Строение композиционного материала становится структурированным и иерархическим.

До идентификации композитов осуществляется предварительный анализ априорной информации, а также выбор определенного математического аппарата. Основные усилия направляются на структуризацию и абсолютную формализацию задачи. При этом всегда исходят из безусловного приоритета человека перед результатами анализа. Как правило, речь никогда не идет о построении полностью автоматических систем управления качеством.

Пока при разработке и управлении качеством строительных материалов с регулируемой структурой и свойствами весьма редко используются методы векторной оптимизации. До алгоритмов доведены методы синтеза композитов на основе их

представления как многокритериальных сложных систем (лексикографическая задача; метод последовательных уступок; скаляризация критериев качества на основе линейной свертки и введения контрольных показателей; построение множеств Парето и др. [1]). Целевая функция определялась по желаемым видам кинетических процессов формирования основных физико-механических характеристик композитов. В основном это было продиктовано простым их физическим смыслом. Ряд результатов, которые были получены на основе математического и компьютерного моделирования, приводится в [1].

При идентификации процессов использовалась и простая ступенчатая аппроксимация (можно применять или при мелкой сетке в пространстве аргумента x , или при специальном ступенчатом виде самой функции). Для приближения функции нескольких переменных можно воспользоваться ее представлением суммой функций одной переменной и методом наименьших квадратов. Для случая функции двух переменных $f(x_1, x_2)$ с прямоугольной областью изменения аргументов

$$d_{11} \leq x_1 \leq d_{12}, \quad d_{21} \leq x_2 \leq d_{22}$$

соответствующее выражение имеет вид

$$\min_{f_1, f_2} \int_{d_{21}}^{d_{22}} \int_{d_{11}}^{d_{12}} [f(x_1, x_2) - f_1(x_1) - f_2(x_2)]^2 dx_1 dx_2.$$

Решение задачи получается в виде

$$f_1(x_1) + f_2(x_2) = \overline{f}^{x_1} + \overline{f}^{x_2} - \overline{\overline{f}}^{x_1 x_2},$$

где

$$\begin{aligned} \overline{f}^{x_1} &= \frac{1}{d_{12} - d_{11}} \int_{d_{11}}^{d_{12}} f(x_1, x_2) dx_1, \\ \overline{f}^{x_2} &= \frac{1}{d_{22} - d_{21}} \int_{d_{21}}^{d_{22}} f(x_1, x_2) dx_2, \\ \overline{\overline{f}}^{x_1 x_2} &= \frac{1}{(d_{12} - d_{11})(d_{22} - d_{21})} \int_{d_{21}}^{d_{22}} \int_{d_{11}}^{d_{12}} f(x_1, x_2) dx_1 dx_2. \end{aligned}$$

Задача приближения функции двух аргументов представлением в виде произведения двух одномерных аргументов сводится к только что рассмотренной. Действительно, если вместо исходной функции $f(x_1, x_2)$ рассмотреть функцию $\varphi(x_1, x_2) = \ln f(x_1, x_2)$, выполнить приближение этой функции суммой $\varphi_1(x_1) + \varphi_2(x_2)$, а затем образовать функцию

$$f_1(x_1) = \exp \varphi_1(x_1), \quad f_2(x_2) = \exp \varphi_2(x_2),$$

то

$$\ln f(x_1, x_2) \approx \ln f_1(x_1) + \ln f_2(x_2), \quad f(x_1, x_2) \approx f_1(x_1) f_2(x_2).$$

Существует относительно простой способ приближения многомерных таблично заданных функций обобщенными многочленами частного вида. В частности при двумерной аппроксимации аппроксимирующий многочлен определяется в виде

$$Q_q = a_1 f_1(x) \varphi_1(y) + a_2 f_2(x) \varphi_2(y) + \dots + a_q f_q(x) \varphi_q(y),$$

где $f_p(x)$, $\varphi_p(y)$ – выбранные из практических соображений функции, a_p – неизвестные коэффициенты.

6. Garkina, I.A. Principles of Optimal Control in the Synthesis of Composite Materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Selyaev // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 723. – P.32–36.
7. Danilov, A.M. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A.M. Danilov, I.A. Garkina / Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – No. 5. – P. 219–225.
8. Garkina, I.A. Modeling of kinetic processes in composite materials / I.A. Garkina / Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – No. 10. – P. 421–425.

References

1. Vorobyev, V.A. The main tasks in computer study of building materials / V.A. Vorobyev, A.V. Iluhin // Building Materials. – 2006. – № 7. – P.19–21.
2. Systems analysis in building materials: monograph / Yu.M. Bazhenov, I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev. – M.: Moscow State University of Civil Engineering: Library of scientific developments and projects, 2012. – 432 p.
3. Garkina, I.A. Modeling of Building Materials as Complex Systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, Y.P. Skachkov // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 730. – P. 412–417. (10.4028/www.scientific.net/KEM.730.412)
4. Budylna, E. Control of multiobjective complex systems / E. Budylna, A.Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8, No. 10. – P. 441–445. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5276>
5. Garkina, I.A. Analytical design of building materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Journal of Basic and Applied Research International. – 2016. – Vol.18. – Issue 2. – P. 95–99.
6. Garkina, I.A. Principles of Optimal Control in the Synthesis of Composite Materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Selyaev // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 723. – P.32–36.
7. Danilov, A.M. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A.M. Danilov, I.A. Garkina / Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – No. 5. – P. 219–225.
8. Garkina, I.A. Modeling of kinetic processes in composite materials / I.A. Garkina / Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – No. 10. – P. 421–425.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 692.421.4

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

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

Шишкин Сергей Олегович,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: hehaio@mail.ru

Ласьков Николай Николаевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Строительные конструкции»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

Shishkin Sergey Olegovich,
Postgraduate of the department «Building
structures»
E-mail: hehaio@mail.ru

Laskov Nikolay Nikolaevich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
Department «Building structures»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ УСИЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ОСАДКИ ФУНДАМЕНТОВ КОЛОНН КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

И.С. Гучкин, С.О. Шишкин, Н.Н. Ласьков

Предлагаются новые способы усиления и регулирования осадки фундаментов колонн каркасных зданий. Приводятся конструкция комплексного усиления фундамента с предварительным обжатием грунта основания домкратами, снижающая осадку и дополнительно препятствующая продавливанию дна стакана колонной, а также новая конструкция фундамента с устройством для регулирования осадки в процессе эксплуатации здания.

Ключевые слова: каркасное здание, фундамент колонны, осадка, продавливание, усиление, обжатие грунта, регулирование осадки

EFFECTIVE WAYS OF STRENGTHENING AND REGULATION OF SEDIMENT OF FRAME BUILDINGS COLUMNS FOUNDATIONS

I.S. Guchkin, S.O. Shishkin, N.N. Laskov

The report includes new ways to strengthen and regulate sediment of frame buildings columns foundations. We present the design of a complex strengthening of the foundation with pre-

compression of soil base by jacks, reducing sediment and preventing the bottom of the column boring through by a column. The authors also propose new foundation structure with a device for regulation the process of the building sediment.

Keywords: frame building, columns foundation, punching, reinforcement, compression of soil, regulation of sediment

В России и за рубежом быстро развивается строительство высотных каркасных зданий. При этом существенно растут требования к обеспечению их несущей способности, долговечности и безопасности, что связано в том числе с наличием большого количества элементов и узловых соединений, остро реагирующих на неравномерную осадку фундаментов. Для гарантии безопасной эксплуатации, повышения долговечности и надежности в работе таких систем необходимо дальнейшее совершенствование конструкций основных несущих элементов зданий. В первую очередь это касается фундаментов колонн, поэтому при увеличении нагрузки, повреждениях или неравномерной осадке требуется их незамедлительное усиление.

Предлагаемая конструкция усиления, в отличие от известных [1, 2], в основном ориентированных только на уменьшение чрезмерной осадки, – комплексная, позволяющая одновременно уменьшить осадку и повысить прочность фундамента от усилия продавливания дна стакана колонной.

Основными элементами усиления фундамента 1 колонны (рис.1) являются железобетонный пояс 2 и четыре железобетонные консоли из монолитного бетона 3. Консоли соединены с фундаментом посредством стержней 4, которые фиксируются в шпурах в теле фундамента на эпоксидном клее; кроме того, они оснащены закладными деталями М1, М2. Детали М1 в виде анкерных стержней с винтовой нарезкой и гайками предназначены для крепления поперечных балок 5, которые служат упором для домкратов 6. Детали М2, изготовленные из отрезков труб с приваренными по бокам анкерами и сквозным отверстием в стенках, обеспечивают свободное размещение в них стержней 7, в верхней части которых также предусмотрены часто расположенные отверстия. В свою очередь, стержни 7, одним концом упираясь в домкраты, а другим (через стальные пластины) – в железобетонный пояс усиления, передают необходимое усилие обжатия грунта основания пояса, а стальные пальцы 8, на завершающем этапе пропущенные в совпадающие по высоте отверстия в трубах М2 и стержнях 7, фиксируют осадку пояса под нагрузкой. В тех случаях, когда фундаменту грозит продавливание колонной, на его поверхности размещают составную опорную плиту 10, а к продольным стержням ствола колонны приваривают фасонки 9, которые соединяют на сварке с опорной плитой.

Усилению предшествует тщательное обследование. Отрывается фундамент и закрепляется грунт в стенках котлована, очищается поверхность фундамента от земли, а на его боковых гранях делается насечка 5...15 мм; определяются прочность (класс) бетона и армирование фундамента, а также расчетные параметры грунта основания. Затем назначаются класс бетона (В20...В25) и геометрические параметры конструкции усиления (консолей и пояса) – b_k, h_k, b_n, h_n , которые впоследствии уточняются по результатам конструктивных расчетов.

Проектирование усиления начинается с поверочных расчетов, по результатам которых устанавливают нагрузку, которую необходимо передать на конструкцию усиления.

Расчетная нагрузка, воспринимаемая фундаментом из условия допустимых деформаций грунта основания

$$N_f = A_f (R_0 - \gamma_m H_f) \cdot \gamma_f;$$

то же, передаваемая на все консоли или на пояс усиления

$$N_y = N_{тр} - N_f \text{ (в том числе на одну консоль } N_{кy} = 0,25 N_y),$$

где A_f – фактическая площадь подошвы фундамента; R_0 – расчетное сопротивление грунта; $N_{тр}$ – фактическая нагрузка на фундамент.

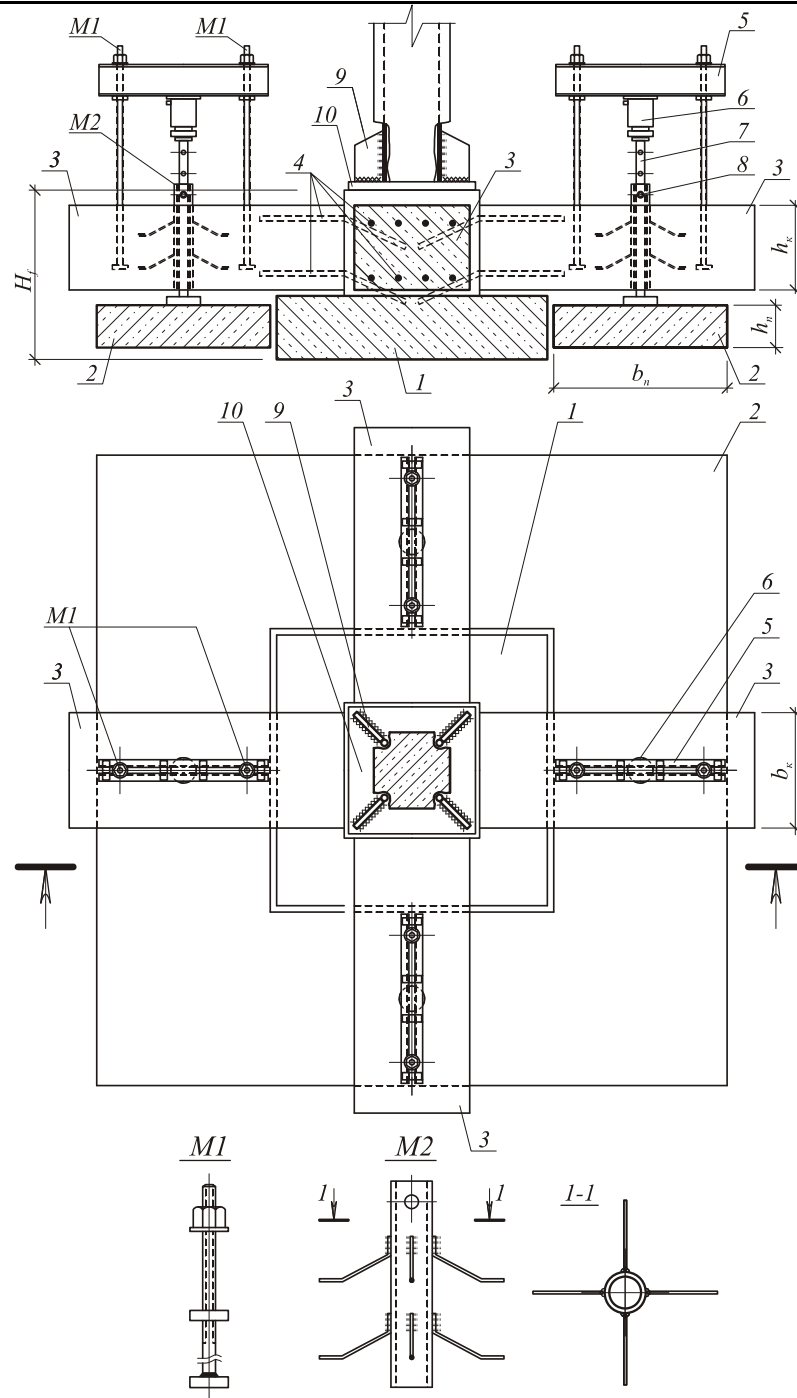


Рис. 1. Устройство для усиления фундамента с обжатием грунта основания

$$\text{Требуемая площадь подошвы фундамента } A_{\text{тр}} = \frac{N_{\text{тр}}}{(R_0 - \gamma_m H_f) \gamma_f};$$

то же пояса усиления $A_y = A_{\text{тр}} - A_f$.

По данным статического расчета (M_k, Q_k, M_n, Q_n) уточняются размеры железобетонных консолей и пояса усиления. Оптимальная полезная высота сечений консолей и пояса находится по формуле

$$h_0 = \sqrt{\frac{M}{R_b \cdot b \cdot \alpha_m}},$$

где $\alpha_m = 0,2 \dots 0,25$.

Полная высота сечений $h = h_0 + 0,07$ м.

Рассчитывается продольная (A_s) и поперечная (A_{sw}) арматура элементов усиления.

Площадь сечения продольной рабочей арматуры

$$A_s = \frac{M}{R_s h_0 \nu},$$

где $\nu = 0,815 \dots 0,85$.

Задаются диаметром, количеством и шагом s_w ($s_w \leq 0,5h_0$) поперечной арматуры, затем проверяют прочность сечений по наклонной сжатой полосе и по опасной наклонной трещине.

Условие прочности элементов по наклонной полосе:

$$Q \leq 0,3R_b b h_0.$$

Условие прочности по опасной наклонной трещине:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw}.$$

Здесь $Q_b = 0,5R_{bt} b h_0$ – усилие, воспринимаемое бетоном; $Q_{sw} = q_{sw} h_0$ – усилие, воспринимаемое поперечной арматурой; $q_{sw} = R_{sw} A_{sw} / s_w$ – усилие в поперечной арматуре на единицу длины элемента.

Назначаются конструктивные параметры анкеров (марка стали, длина, диаметр) и рассчитывается их несущая способность с учетом прочности на растяжение (сжатие) и сопротивления выдергиванию. Требуемая расчетная длина анкерования определяется по [5, формула (8.3)]:

$$l_{an} = \alpha \cdot l_{0,an} \frac{A_s}{A_{s,ef}},$$

где $l_{0,an} = \frac{R_s A_s}{R_{bond} u_s}$ – базовая длина анкерования.

Здесь $R_{bond} = \eta_1 \eta_2 R_{bt}$ – расчетное сопротивление сцепления анкера с бетоном; u_s – периметр сечения анкера; α, η_1, η_2 – эмпирические коэффициенты [5, подразд. 8.3.1].

При наличии признаков продавливания дна стакана колонной размеры стальной опорной плиты и фасонки усиления назначаются конструктивно с учетом требований к сварным соединениям.

Устройство включают в работу следующим образом. Вдоль контура фундамента по грунту основания устраивают монолитный железобетонный пояс уширения. В теле фундамента высверливают шпury и размещают в них анкера на эпоксидном клее. Устанавливают опалубку для железобетонных консолей, заводят в опалубку анкера и закладные детали М1, М2, затем консоли бетонируют. После набора бетоном прочности на закладные детали М1 устанавливают в проектное положение поперечные балки и закрепляют гайками, далее устанавливают стержни 7 и домкраты. Осадку пояса уширения под нагрузкой фиксируют стальными пальцами, пропущенными через совпадающие по высоте отверстия в стенках трубы и стержне. Зазор между консолями и поясом уширения заполняют мелкозернистым бетоном на расширяющемся цементе. На поверхность фундамента на цементно-песчаном растворе укладывают опорную плиту 10, удаляют защитный слой бетона, после чего продольные стержни ствола колонны соединяют на сварке с опорной плитой через фасонки 9. Выполняют антикоррозионное покрытие стальных элементов усиления.

Важно отметить, что усиление фундамента требует значительных материальных затрат. Поэтому при возведении высотных каркасных зданий на площадке со сложными гидрогеологическими условиями (насыпной грунт, высокий уровень грунтовых вод, карстовые явления и пр.), провоцирующими неравномерную осадку, целесообразно применять фундаменты колонн с устройствами, компенсирующими чрезмерную осадку.

Предлагаемое устройство, в отличие от известных [3, 4], простое в изготовлении, надежное в работе и обеспечивает диапазон регулирования осадки в пределах 0,01...0,6 м.

Фундамент колонны с устройством для компенсации чрезмерной осадки (рис. 2) представляет собой ступенчатое монолитное тело 1, имеющее на гранях верхней ступени четыре ниши высотой 350...400 мм для размещения гидравлических домкратов 5. В теле фундамента симметрично расположены четыре анкерных болта 3 с винтовой нарезкой поверху, выступающие над его поверхностью на 300...600 мм. Верхняя сборная железобетонная плита 2 способна к вертикальному, относительно фундамента, перемещению и является промежуточным звеном между телом фундамента и базой колонны 4. Она имеет отверстия со стальными втулками для пропуска анкерных болтов, выполняет роль площадки для упора плунжеров гидравлических домкратов и служит основанием для размещения базы колонны.

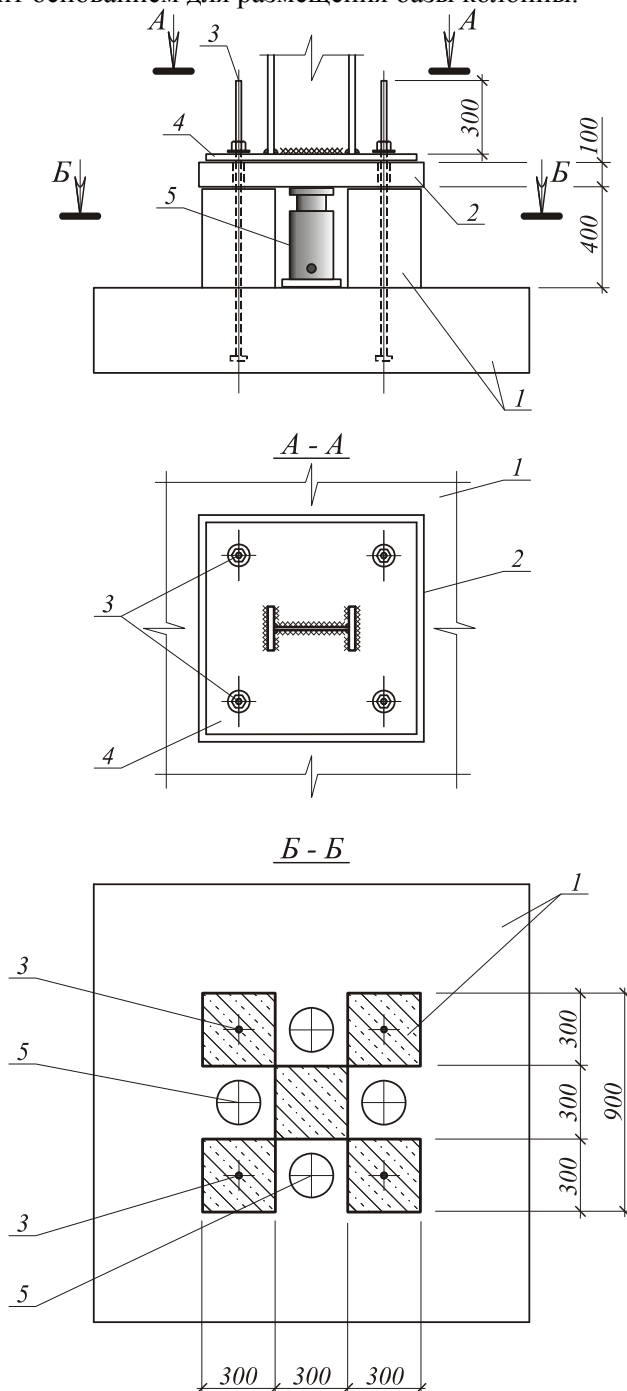


Рис.2. Фундамент колонны с устройством для компенсации чрезмерной осадки

Фундамент изготавливают из бетона класса В30...В35, армируют пространственным каркасом, фиксируют положение анкерных болтов. Затем из бетона класса В35 формируют плиту с отверстиями, армированную сетками, и размещают ее на верхней ступени фундамента. После этого на фундамент, в сборе с плитой, устанавливают стальную базу колонны 4 и закрепляют с помощью гаек на анкерных болтах.

При чрезмерной осадке фундамента для восстановления проектной отметки базы колонны верхнюю ступень фундамента освобождают от грунта, в ниши устанавливают гидравлические домкраты, задействованные от одной насосной станции, затем вывинчивают гайки анкерных болтов на величину осадки фундамента. С помощью домкратов поднимают плиту 2 вместе с базой колонны на требуемую отметку. В образовавшиеся зазоры между плитой и верхней ступенью фундамента вставляют стальные пластины-клинья и заполняют бетоном жесткой консистенции, а гайки завинчивают до упора. Затем домкраты демонтируют, стальные элементы защищают от коррозии, верхнюю ступень фундамента, включая ниши, засыпают сухим грунтом, песком или керамзитом.

Вывод

Предлагаемую конструкцию фундамента планируется использовать при возведении многоэтажного стального каркаса здания с площадью основания до 1500 м², базирующегося на неоднородных грунтах, предрасположенных к неравномерным деформациям.

Список литературы

1. Патент РФ №2230157, МКП, Е 02 D 35/00, Е 02 D 37/00. Способ управления осадкой осевшего фундамента / П.А. Кострыкин, А.К. Нежданов, К.К. Нежданов, А.В. Туманов.
2. Патент РФ №2482246, МКП Е 02 D 27/08. Устройство для усиления фундаментов с обжатием грунта / В.С Глухов, И.С. Гучкин, Д.Е. Деготков.
3. Патент РФ №2211288, МКП Е 02 D 35/00, Е 02 D 37/00. Способ управления креном и осадкой массивного сооружения / А.С. Маскаев, А.К. Нежданов, К.К. Нежданов, В.А. Туманов.
4. Патент РФ №8468150, МКП Е 02 D 27/08. Способ выравнивания зданий и сооружений / С.П Гусаренко [и др.].
5. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М., 2004.

References

1. Patent RF 2230157, MKP E 02 d 35/00, E 02 D 37/00. Way of management setting sifted foundation / P.A. Kostykin, A.K. Nezhdanov, K.K. Nezhdanov, A.V. Tumanov.
2. Patent RF 2482246, MKP E 02 d 27/08. Device for reinforcement foundation with compression of the soil / V.S Gluhov, I.S. Guchkin, D.E. Degotikov.
3. Patent RF 2211288. MKP E 02 d 35/00, E 02 D 37/00. Way of list management and setting of the massive building / A.S. The Mask, A.K. Nezhdanov, K.K. Nezhdanov, V.A. Tumanov.
4. Patent RF 8468150, MKP E 02 d 27/08. Way of the leveling the buildings and buildings / S.P Gusarenko [etc.].
5. JV 52-101-2003. Concrete and reinforced concrete designs without preliminary voltage armatury. – М., 2004.

УДК 534.11

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительстваРоссия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77**Бакушев Сергей Васильевич,**
доктор технических наук, профессор
кафедры «Механика»
E-mail: bakuchsv@mail.ruPenza State University of Architecture
and ConstructionRussia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77**Bakushev Sergey Vasilevich,**
Doktor of Sciences, Professor of the
Department «Mechanics»
E-mail: bakuchsv@mail.ru

СФЕРИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧНЫЕ УДАРНЫЕ ВОЛНЫ В СПЛОШНЫХ СРЕДАХ

С.В. Бакушев

Определяются условия, при которых для непрерывных краевых условий возможно образование сферически-симметричной ударной волны деформаций, или волны сильного разрыва, в сплошной среде. Отмечено, что судить о возможности образования ударных сферически-симметричных волн деформаций внутри сплошного массива следует только после решения краевой задачи и определения явного выражения для функции радиального перемещения. Показано, что образование сферически-симметричной ударной волны внутри сплошного массива, при непрерывных краевых условиях, определяется как рассматриваемой механической моделью сплошной среды, так и значениями механических характеристик материала сплошной среды.

Ключевые слова: сплошная среда, сферически-симметричная деформация, сферические ударные волны, геометрическая и физическая нелинейность

SPHERICALLY-SYMMETRIC SHOCK WAVES IN CONTINUOUS MEDIUM

S.V. Bakushev

There have been defined conditions in which it is possible to form spherically-symmetric deformation shock waves on a wave of strong gap in solid array of continuous medium for continuous boundary conditions. It is noted, that we can make any conclusions about this possibility only after solving the boundary problem and determining explicit expression for the radial movement function. It is shown, that the shaping of spherically symmetric shock wave inside the continuous medium under the continuous boundary conditions is defined by mechanical model of a continuous medium, and also by the values of the mechanical characteristics of the continuous medium material.

Keywords: solid array, spherically-symmetric deformation, sphericallyshock waves, geometrical and physical nonlinearity

Введение. Ударные волны, или волны сильного разрыва, распространяющиеся в сплошных средах, в частности в грунтах, являются наиболее опасным видом динамического воздействия как на подземные, так и на надземные сооружения, поскольку могут приводить к их разрушению без видимых внешних причин. Формирование волны сильного разрыва (ударной волны) при распространении упругопластических волн деформаций может быть обусловлено либо разрывными граничными условиями, когда внешняя динамическая нагрузка прикладывается внезапно, либо свойствами самой сплошной среды, когда ударная волна возникает в толще среды даже при монотонно возрастающем от нуля внешнем динамическом воздействии.

В работах Х.А.Рахматулина¹ и Г.Я.Галина¹ сформулированы условия на поверхности разрыва, вытекающие из законов термодинамики для сред, деформация которых вне

¹Рахматулин Х.А. О распространении плоских волн в упругой среде при нелинейной зависимости напряжения от деформации // Учёные записки МГУ. 1951. Т. III, вып. 152. С.47-54.

поверхности разрыва может рассматриваться как равновесный обратимый (упругие тела) или равновесный необратимый по Дюгему (пластические тела) термодинамический процесс. Показано, что при одномерных движениях о возможности сильных разрывов можно судить, имея в распоряжении лишь связь “напряжения – деформации”.

Вопросы формирования плоских ударных волн в сплошных средах при непрерывном возрастании от нуля внешней нагрузки рассмотрены в работах [1, 2]. Механическое поведение сплошных сред описывалось как геометрически линейными, так и геометрически нелинейными моделями с учётом физической нелинейности. В работе [1] на основе билинейной аппроксимации кривых объёмного и сдвигового деформирования показано, что формирование внутри массива одномерной плоской ударной волны существенным образом зависит от вида функций, описывающих объёмные и сдвиговые деформации. В работе [2] представлены полученные аналитические зависимости, определяющие условия и диапазон изменения механических характеристик сплошных сред, при которых в толще массива возможно образование одномерной плоской ударной волны.

Ниже рассматривается формирование одномерных сферически-симметричных ударных волн деформаций в толще бесконечной сплошной среды при действии динамической нагрузки в сферической полости, расположенной внутри рассматриваемого массива. Предполагается, что давление в полости монотонно возрастает от нуля.

Построение расчётных соотношений. Волна сильного разрыва возникает в случае, когда волна, несущая большее напряжение, распространяется со скоростью большей по сравнению со скоростью волны, несущей меньшее напряжение. В результате их наложения возможно формирование ударной волны, или волны сильного разрыва. На рис. 1 показан случай расходящихся и сходящихся волн Римана. В первом случае, когда $\alpha_1 \leq \alpha_2$, формирование внутри массива сплошной среды волны сильного разрыва невозможно. Во втором случае, когда $\alpha_1 > \alpha_2$, внутри массива сплошной среды возможно формирование волны сильного разрыва.

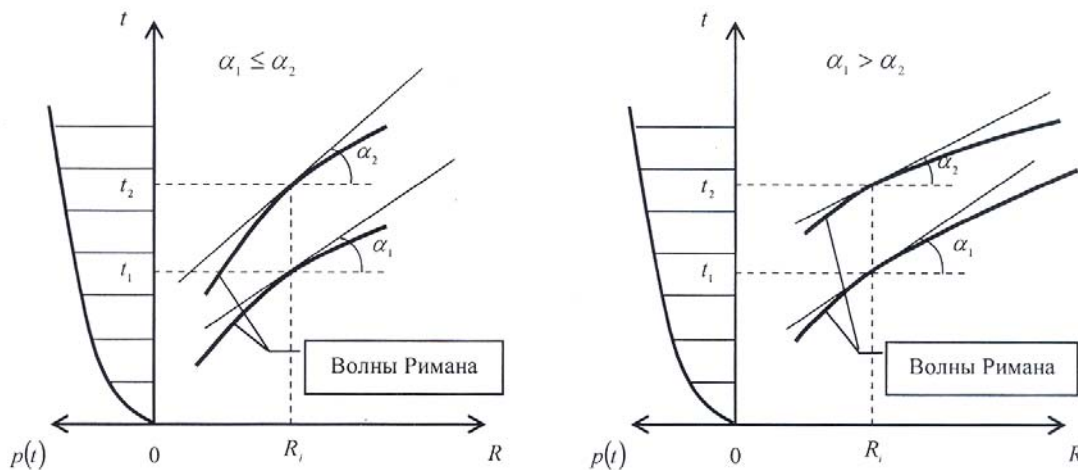


Рис. 1. Расходящиеся и сходящиеся волны Римана

Семейство одномерных сферически-симметричных упругопластических волн Римана на фазовой плоскости Rt описывается дифференциальными уравнениями характеристик и соотношениями на них:

$$\begin{aligned} dR &= \pm a \cdot dt; \\ dV_R &= \pm a \cdot d\epsilon_R + \frac{B + F_R}{\rho} dt \end{aligned} \quad (1)$$

¹Галин Г.Я. Об условиях на поверхностях сильных разрывов для упругих и пластических тел // ПММ. 1955. Т.19. С.368-370.

дифференциального уравнения динамического равновесия, записанного в перемещениях [3]:

$$A \frac{\partial^2 u_R}{\partial R^2} + B + D F_R = \rho \frac{\partial^2 u_R}{\partial t^2}. \quad (2)$$

Здесь

$$a = \sqrt{A \cdot \rho^{-1}} \quad (3)$$

– скорость распространения упругопластических волн деформаций.

Для геометрически линейной, но физически нелинейной модели сплошной среды

$$A = K + \frac{4}{3}G + X + m_1 Y;$$

$$B = \frac{2}{R} \left\{ \left(\frac{\partial u_R}{\partial R} - \frac{u_R}{R} \right) \left(K - \frac{2}{3}G + X + m_2 Y \right) + (\sigma_{RR} - \sigma_{\varphi\varphi}) \right\};$$

$$D = 1; \quad \varepsilon_R = \frac{\partial u_R}{\partial R}; \quad V_R = \frac{\partial u_R}{\partial t}, \quad (4)$$

$$\text{причём } X = \varepsilon \frac{\partial K}{\partial \varepsilon} + 2 \left(\varepsilon_{RR} - \frac{\varepsilon}{3} \right) \frac{\partial G}{\partial \varepsilon}; \quad Y = \varepsilon \frac{\partial K}{\partial \Gamma} + 2 \left(\varepsilon_{RR} - \frac{\varepsilon}{3} \right) \frac{\partial G}{\partial \Gamma};$$

$$m_1 = \frac{4(\varepsilon_{RR} - \varepsilon_{\varphi\varphi})}{3\Gamma}; \quad m_2 = \frac{2(\varepsilon_{\varphi\varphi} - \varepsilon_{RR})}{3\Gamma};$$

$$\sigma_{RR} = K\varepsilon + 2G \left(\varepsilon_{RR} - \frac{\varepsilon}{3} \right); \quad \sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{\theta\theta} = K\varepsilon + 2G \left(\varepsilon_{\varphi\varphi} - \frac{\varepsilon}{3} \right);$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{RR} + 2\varepsilon_{\varphi\varphi}; \quad \Gamma = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{(\varepsilon_{RR} - \varepsilon_{\varphi\varphi})^2}.$$

$$\text{Кроме того, } \varepsilon_{RR} = \frac{\partial u_R}{\partial R}; \quad \varepsilon_{\varphi\varphi} = \varepsilon_{\theta\theta} = \frac{u_R}{R}.$$

Для геометрически и физически нелинейной модели сплошной среды

$$A = A^* = \left(1 + \frac{\partial u_R}{\partial R} \right)^2 \left(K^* + \frac{4}{3}G^* + X^* + m_1^* Y^* \right) + \sigma_{RR}^*;$$

$$B = B^* = \frac{2}{R} \left\{ \left(1 + \frac{u_R}{R} \right) \left(1 + \frac{\partial u_R}{\partial R} \right) \left(\frac{\partial u_R}{\partial R} - \frac{u_R}{R} \right) \left(K^* - \frac{2}{3}G^* + X^* + m_2^* Y^* \right) + \right. \\ \left. + \left[\left(1 + \frac{\partial u_R}{\partial R} \right) \sigma_{RR}^* - \left(1 + \frac{u_R}{R} \right) \sigma_{\varphi\varphi}^* \right] \right\};$$

$$D = \left(1 + \frac{\partial u_R}{\partial R} \right) \left(1 + \frac{u_R}{R} \right)^2; \quad \varepsilon_R = \frac{\partial u_R}{\partial R}; \quad V_R = \frac{\partial u_R}{\partial t}, \quad (5)$$

$$\text{причём } X^* = \varepsilon^* \frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} + 2 \left(\varepsilon_{RR}^* - \frac{\varepsilon^*}{3} \right) \frac{\partial G^*}{\partial \varepsilon^*};$$

$$Y^* = \varepsilon^* \frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} + 2 \left(\varepsilon_{RR}^* - \frac{\varepsilon^*}{3} \right) \frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*};$$

$$m_1^* = \frac{4(\varepsilon_{RR}^* - \varepsilon_{\varphi\varphi}^*)}{3\Gamma^*}; \quad m_2^* = \frac{2(\varepsilon_{\varphi\varphi}^* - \varepsilon_{RR}^*)}{3\Gamma^*};$$

$$\sigma_{RR}^* = K^* \varepsilon^* + 2G^* \left(\varepsilon_{RR}^* - \frac{\varepsilon^*}{3} \right); \quad \sigma_{\varphi\varphi}^* = K^* \varepsilon^* + 2G^* \left(\varepsilon_{\varphi\varphi}^* - \frac{\varepsilon^*}{3} \right);$$

$$\varepsilon^* = \varepsilon_{RR}^* + 2\varepsilon_{\varphi\varphi}^*; \quad \Gamma^* = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{(\varepsilon_{RR}^* - \varepsilon_{\varphi\varphi}^*)^2}.$$

Кроме того, $\varepsilon_{RR}^* = \frac{\partial u_R}{\partial R} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_R}{\partial R} \right)^2$; $\varepsilon_{\varphi\varphi}^* = \varepsilon_{\theta\theta}^* = \frac{u_R}{R} + \frac{1}{2} \left(\frac{u_R}{R} \right)^2$.

В формулах (4) и (5) модули объёмного расширения (сжатия) K^* и K и сдвига G^* и G являются величинами, определяющими математическую модель рассматриваемой сплошной среды, и, вообще говоря, в самом общем случае имеют форму перекрёстных зависимостей между первыми инвариантами тензоров σ^* и ε^* (σ и ε) и вторыми инвариантами девиаторов T^* и Γ^* (T и Γ) напряжений и деформаций¹:

– для геометрически линейной модели сплошной среды

$$K = K(\varepsilon, \Gamma), \quad G = G(\varepsilon, \Gamma); \quad (6)$$

– для геометрически нелинейной модели сплошной среды

$$K^* = K^*(\varepsilon^*, \Gamma^*), \quad G^* = G^*(\varepsilon^*, \Gamma^*). \quad (7)$$

Анализ соотношения (3) показывает, что скорости распространения упругопластических сферически-симметричных волн деформаций сжатия в каждой точке фазовой плоскости (R, t) являются функцией радиального перемещения u_R этой точки сплошной среды, а также нестационарного давления $p(t)$ в сферической полости. Так как величина давления в сферической полости определяет величину радиального перемещения точек сплошной среды, то в качестве параметра нагружения массива можно принять величину радиального перемещения его точек. Действительно, при возрастании с течением времени давления в сферической полости в каждой точке сплошной среды радиальное перемещение также будет возрастать. Таким образом, приходим к выводу, что скорости распространения упругопластических сферически-симметричных волн деформаций сжатия в каждой точке фазовой плоскости (R, t) являются функциями только радиального перемещения u_R этой точки:

$$a = a(R_i, t_i, u_R(R_i, t_i)) = \sqrt{A(u_R)} \cdot \rho^{-1}. \quad (8)$$

Здесь r_i , t_i – координаты рассматриваемой точки фазовой плоскости rt .

Образование ударной волны возможно, если $\alpha_1 > \alpha_2$ (см. рис. 1). Это означает, что скорость распространения сферически-симметричных упругопластических волн деформаций сжатия должна быть монотонно возрастающей функцией по отношению к параметру нагружения, каковым, в соответствии с вышесказанным, является радиальное перемещение u_r точек сплошной среды. Таким образом, если

$$\frac{da(u_R)}{du_R} = \frac{1}{2\rho\sqrt{A(u_R)}\rho^{-1}} \frac{dA(u_R)}{du_R} > 0, \quad (9)$$

¹ Новожилов В.В. Теория упругости. М.: Судпромгиз, 1958, С.370.

то образование ударной волны, или волны сильного разрыва, в толще массива возможно.

Для геометрически линейной модели сплошной среды условие (9) получает вид:

$$\frac{dA(u_R)}{du_R} = \frac{dK}{du_R} + \frac{4}{3} \frac{dG}{du_R} + \frac{dX}{du_R} + m_1 \frac{dY}{du_R} + Y \frac{dm_1}{du_R} > 0. \quad (10)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \frac{dK}{du_R} &= \frac{\partial K}{\partial \varepsilon} \frac{d\varepsilon}{du_R} + \frac{\partial K}{\partial \Gamma} \frac{d\Gamma}{du_R}; \quad \frac{dG}{du_R} = \frac{\partial G}{\partial \varepsilon} \frac{d\varepsilon}{du_R} + \frac{\partial G}{\partial \Gamma} \frac{d\Gamma}{du_R}; \\ \frac{dX}{du_R} &= \frac{d\varepsilon}{du_R} \frac{\partial K}{\partial \varepsilon} + \varepsilon \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial K}{\partial \varepsilon} \right) + 2 \left(\frac{d\varepsilon_{RR}}{du_R} - \frac{1}{3} \frac{d\varepsilon}{du_R} \right) \frac{\partial G}{\partial \varepsilon} + \\ &\quad + 2 \left(\varepsilon_{RR} - \frac{\varepsilon}{3} \right) \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial G}{\partial \varepsilon} \right); \\ \frac{dY}{du_R} &= \frac{d\varepsilon}{du_R} \frac{\partial K}{\partial \Gamma} + \varepsilon \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial K}{\partial \Gamma} \right) + 2 \left(\frac{d\varepsilon_{RR}}{du_R} - \frac{1}{3} \frac{d\varepsilon}{du_R} \right) \frac{\partial G}{\partial \Gamma} + \\ &\quad + 2 \left(\varepsilon_{RR} - \frac{\varepsilon}{3} \right) \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial G}{\partial \Gamma} \right); \\ \frac{dm_1}{du_R} &= \frac{4}{3\Gamma^2} \left[\Gamma \left(\frac{d\varepsilon_{RR}}{du_R} - \frac{d\varepsilon_{\varphi\varphi}}{du_R} \right) - (\varepsilon_{RR} - \varepsilon_{\varphi\varphi}) \frac{d\Gamma}{du_R} \right]; \\ \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial K}{\partial \varepsilon} \right) &= \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial K}{\partial \varepsilon} \right) \frac{d\varepsilon}{du_R} + \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left(\frac{\partial K}{\partial \varepsilon} \right) \frac{d\Gamma}{du_R}; \\ \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial K}{\partial \Gamma} \right) &= \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial K}{\partial \Gamma} \right) \frac{d\varepsilon}{du_R} + \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left(\frac{\partial K}{\partial \Gamma} \right) \frac{d\Gamma}{du_R}; \\ \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial G}{\partial \varepsilon} \right) &= \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial G}{\partial \varepsilon} \right) \frac{d\varepsilon}{du_R} + \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left(\frac{\partial G}{\partial \varepsilon} \right) \frac{d\Gamma}{du_R}; \\ \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial G}{\partial \Gamma} \right) &= \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial G}{\partial \Gamma} \right) \frac{d\varepsilon}{du_R} + \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left(\frac{\partial G}{\partial \Gamma} \right) \frac{d\Gamma}{du_R}, \end{aligned}$$

причём

$$\begin{aligned} \frac{d\varepsilon}{du_R} &= \frac{d\varepsilon_{RR}}{du_R} + 2 \frac{d\varepsilon_{\varphi\varphi}}{du_R}; \quad \frac{d\Gamma}{du_R} = \frac{4(\varepsilon_{RR} - \varepsilon_{\varphi\varphi})}{3\Gamma} \left(\frac{d\varepsilon_{RR}}{du_R} - \frac{d\varepsilon_{\varphi\varphi}}{du_R} \right); \\ \frac{d\varepsilon_{RR}}{du_R} &= \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial u_R}{\partial R} \right) = \frac{\partial^2 u_R}{\partial R^2} \left(\frac{\partial u_R}{\partial R} \right)^{-1}; \quad \frac{d\varepsilon_{\varphi\varphi}}{du_R} = \frac{d}{du_R} \left(\frac{u_R}{R} \right) = -\frac{u_R}{R^2} \left(\frac{\partial u_R}{\partial R} \right)^{-1}. \end{aligned}$$

Условие (9) для геометрически нелинейной модели сплошной среды сводится к соотношению

$$\begin{aligned} \frac{dA^*(u_R)}{du_R} &= 2 \left(1 + \frac{\partial u_R}{\partial R} \right) \left(K^* + \frac{4}{3} G^* + X^* + m_1^* Y^* \right) \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial u_R}{\partial R} \right) + \\ &+ \left(1 + \frac{\partial u_R}{\partial R} \right)^2 \left(\frac{dK^*}{du_R} + \frac{4}{3} \frac{dG^*}{du_R} + \frac{dX^*}{du_R} + m_1^* \frac{dY^*}{du_R} + Y^* \frac{dm_1^*}{du_R} \right) + \frac{d\sigma_{RR}^*}{du_R} > 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial u_R}{\partial R} \right) &= \frac{\partial^2 u_R}{\partial R^2} \left(\frac{\partial u_R}{\partial R} \right)^{-1}; \quad \frac{dK^*}{du_R} = \frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} \frac{d\varepsilon^*}{du_R} + \frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} \frac{d\Gamma^*}{du_R}; \\ \frac{dG^*}{du_R} &= \frac{\partial G^*}{\partial \varepsilon^*} \frac{d\varepsilon^*}{du_R} + \frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*} \frac{d\Gamma^*}{du_R}; \\ \frac{dX^*}{du_R} &= \frac{d\varepsilon^*}{du_R} \frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} + \varepsilon^* \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} \right) + 2 \left(\frac{d\varepsilon_{RR}^*}{du_R} - \frac{1}{3} \frac{d\varepsilon^*}{du_R} \right) \frac{\partial G^*}{\partial \varepsilon^*} + 2 \left(\varepsilon_{RR}^* - \frac{\varepsilon^*}{3} \right) \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \varepsilon^*} \right); \\ \frac{dY^*}{du_R} &= \frac{d\varepsilon^*}{du_R} \frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} + \varepsilon^* \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} \right) + 2 \left(\frac{d\varepsilon_{RR}^*}{du_R} - \frac{1}{3} \frac{d\varepsilon^*}{du_R} \right) \frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*} + 2 \left(\varepsilon_{RR}^* - \frac{\varepsilon^*}{3} \right) \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*} \right); \\ \frac{dm_1^*}{du_R} &= \frac{4}{3\Gamma^{*2}} \left[\Gamma^* \left(\frac{d\varepsilon_{RR}^*}{du_R} - \frac{d\varepsilon_{\varphi\varphi}^*}{du_R} \right) - (\varepsilon_{RR}^* - \varepsilon_{\varphi\varphi}^*) \frac{d\Gamma^*}{du_R} \right]; \\ \frac{d\sigma_{RR}^*}{du_R} &= K^* \frac{d\varepsilon^*}{du_R} + \varepsilon^* \frac{dK^*}{du_R} + 2G^* \left(\frac{d\varepsilon_{RR}^*}{du_R} - \frac{1}{3} \frac{d\varepsilon^*}{du_R} \right) + 2 \left(\varepsilon_{RR}^* - \frac{\varepsilon^*}{3} \right) \frac{dG^*}{du_R}; \\ \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} \right) &= \frac{\partial}{\partial \varepsilon^*} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} \right) \frac{d\varepsilon^*}{du_R} + \frac{\partial}{\partial \Gamma^*} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} \right) \frac{d\Gamma^*}{du_R}; \\ \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} \right) &= \frac{\partial}{\partial \varepsilon^*} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} \right) \frac{d\varepsilon^*}{du_R} + \frac{\partial}{\partial \Gamma^*} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} \right) \frac{d\Gamma^*}{du_R}; \\ \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \varepsilon^*} \right) &= \frac{\partial}{\partial \varepsilon^*} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \varepsilon^*} \right) \frac{d\varepsilon^*}{du_R} + \frac{\partial}{\partial \Gamma^*} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \varepsilon^*} \right) \frac{d\Gamma^*}{du_R}; \\ \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*} \right) &= \frac{\partial}{\partial \varepsilon^*} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*} \right) \frac{d\varepsilon^*}{du_R} + \frac{\partial}{\partial \Gamma^*} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*} \right) \frac{d\Gamma^*}{du_R}, \end{aligned}$$

причём

$$\begin{aligned} \frac{d\varepsilon^*}{du_R} &= \frac{d\varepsilon_{RR}^*}{du_R} + 2 \frac{d\varepsilon_{\varphi\varphi}^*}{du_R}; \quad \frac{d\Gamma^*}{du_R} = \frac{4(\varepsilon_{RR}^* - \varepsilon_{\varphi\varphi}^*)}{3\Gamma} \left(\frac{d\varepsilon_{RR}^*}{du_R} - \frac{d\varepsilon_{\varphi\varphi}^*}{du_R} \right); \\ \frac{d\varepsilon_{RR}^*}{du_R} &= \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial u_R}{\partial R} \right) + \frac{\partial u_R}{\partial R} \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial u_R}{\partial R} \right) = \left(1 + \frac{\partial u_R}{\partial R} \right) \frac{d}{du_R} \left(\frac{\partial u_R}{\partial R} \right) = \left(1 + \frac{\partial u_R}{\partial R} \right) \frac{\partial^2 u_R}{\partial R^2} \left(\frac{\partial u_R}{\partial R} \right)^{-1}; \\ \frac{d\varepsilon_{\varphi\varphi}^*}{du_R} &= \frac{d}{du_R} \left(\frac{u_R}{R} \right) + \frac{u_R}{R} \frac{d}{du_R} \left(\frac{u_R}{R} \right) = \left(1 + \frac{u_R}{R} \right) \frac{d}{du_R} \left(\frac{u_R}{R} \right) = -\frac{u_R}{R^2} \left(1 + \frac{u_R}{R} \right) \left(\frac{\partial u_R}{\partial R} \right)^{-1}. \end{aligned}$$

Анализ полученных соотношений (10) и (11) показывает, что судить о возможности образования ударных сферически-симметричных волн внутри сплошного массива можно только после решения краевой задачи и определения явного выражения для функции радиального перемещения $u_R = u_R(R, t)$. Здесь параметр t определяется интенсивностью нестационарного давления внутри сферической полости.

Решение краевой задачи. Для определения функции радиального перемещения $u_R = u_R(R, t)$ рассмотрим напряжённо-деформированное состояние сплошного массива вокруг бесконечной сферической полости начального радиуса R_0 . Пусть внутренняя поверхность сферической полости получает радиальное перемещение u_R^0 . Массив будет находиться в состоянии сферически-симметричного деформирования. Определение напряжённо-деформированного состояния сплошного массива вокруг сферической полости, находящейся в состоянии статического центрально-симметричного

ного деформирования, математически сводится к решению двухточечной краевой задачи для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка с переменными коэффициентами (2), если краевые условия определены следующим образом:

$$u(R_0) = u_R^0; \quad u(R_n) = 0. \quad (12)$$

Первое из соотношений (12) означает, что задано радиальное перемещение точек сферической поверхности; второе соотношение говорит о том, что на расстоянии R_n от центра сферы перемещения равны нулю.

Решение сформулированной краевой задачи выполнено методом конечных разностей на кусочно-неравномерной сетке с погрешностью в остаточном члене порядка $O(h^2)$ для всех узлов сетки, включая граничные. Кусочно-неравномерная сетка задавалась следующим образом: область решения – интервал $[R_0 \cdots R_n]$ делится на N равных участков, а затем каждый участок $[R_i \cdots R_{i+1}]$ делится ещё на $(N-i)$ участков, где $i = 0, 1, 2, \dots, N-1$. Такое деление обусловлено тем, что с левого края области решения $[R_0 \cdots R_n]$ характеристики напряжённо-деформированного состояния (напряжения, деформации и их инварианты) имеют значительный градиент, приводящий к необходимости задавать очень мелкую сетку.

Система конечно-разностных уравнений для задачи (2), (12) имеет вид

$$\left. \begin{aligned} i = 2; & \quad -(1 + \alpha_2)u_2 + u_3 = F_2 - \alpha_2 u_0; \\ i = 3, \dots, n-2; & \quad \alpha_i u_{i-1} - (1 + \alpha_i)u_i + u_{i+1} = F_i; \\ i = n-1; & \quad \alpha_{n-1} u_{n-2} - (1 + \alpha_{n-1})u_{n-1} = F_{n-1}, \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

причём $F_i = \frac{B_i + D_i F_R}{A_i}$ ($i = 2, \dots, n-1$). Коэффициент α_i равен отношению расстоя-

ния между соседними узлами кусочно-неравномерной сетки: $\alpha_i = \frac{h_i}{h_{i-1}}$. По построению $1 \leq \alpha_i \leq 2$.

Построение решения выполнялось методом итераций, причём на каждой итерации система конечно-разностных уравнений решалась методом прогонки. Покажем, что для системы (13) устойчивость метода прогонки обеспечена. Перепишем систему (13) в форме

$$\begin{aligned} \tilde{A}_i u_{i-1} - \tilde{C}_i u_i + \tilde{B}_i u_{i+1} &= -F_i, \quad i = 3, 4, \dots, n-2, \\ u_2 &= \chi_1 u_3 + \mu_1, \\ u_{n-1} &= \chi_2 u_{n-2} + \mu_2, \end{aligned} \quad (14)$$

для коэффициентов $\tilde{A}, \tilde{C}, \tilde{B}, \chi_1, \chi_2$ получим следующие значения: $\tilde{A} = \alpha_i$, $\tilde{C} = 1 + \alpha_i$, $\tilde{B} = 1$, $\chi_1 = \frac{1}{1 + \alpha_2}$, $\chi_2 = \frac{\alpha_{n-1}}{1 + \alpha_{n-1}}$. Отсюда следует выполнимость условий устойчивости метода прогонки:

$$\begin{aligned} |\tilde{C}_i| &\geq |\tilde{A}_i| + |\tilde{B}_i|, \quad i = 3, 4, \dots, n-2, \\ |\chi_1| &\leq 1, \quad |\chi_2| \leq 1, \\ |\chi_1| + |\chi_2| &\leq 2. \end{aligned} \quad (15)$$

Действительно, для неравенства $|\tilde{C}_i| \geq |\tilde{A}_i| + |\tilde{B}_i|$ получаем: $1 + \alpha_i \equiv \alpha_i + 1$, так как $1 \leq \alpha_i \leq 2$. Далее, так как $\alpha_2 = 1$ (по построению), то $\chi_1 = \frac{1}{2} < 1$. Так как $\alpha_{n-1} = 2$

(тоже по построению), то $\chi_2 = \frac{2}{3} < 1$. При этом $|\chi_1| + |\chi_2| = \frac{7}{6} < 2$. Таким образом, задача (13) имеет единственное решение.

В качестве начального приближения решения принималось решение данной краевой задачи для физически и геометрически линейной модели сплошной среды (в силу его интегрируемости). Окончание процесса итераций выполнялось по перемещениям: $|u_{Ri}^k - u_{Ri}^{k-1}| \leq \Delta$, где k – номер итерации; Δ – погрешность вычислений.

Решение двухточечной краевой задачи для центрально-симметричного деформирования сплошной среды реализовано в пакете программ «KkzA», разработанном в среде программирования математического пакета «MATLAB» [4]. При выполнении расчётов параметры геометрии полупространства, с приведённой начальной плотностью $\frac{F_R}{G_0 \Gamma_s} = 0,005$, принимались следующими: начальный радиус цилиндрической

полости $R_0 = 1$ м, толщина сжимаемой толщии полупространства $R_n = 12$ м, количество узлов кусочно-неравномерной сетки $N = 24$, количество расчётных точек $n = 277$. Механические константы сплошной среды имели следующие значения: $\frac{K_0}{G_0} = 4,00$; предельная интенсивность деформаций сдвига $\Gamma_s = 0,231$; приведённый

коэффициент дилатансии $\frac{q}{\Gamma_s} = 0$; коэффициент трения $f = 0,3$. Вычисления выполнялись с точностью $\Delta \leq 0,0001$. Начальное смещение границы цилиндрической

полости u_R^0 для обеспечения упругой стадии работы материала на границе цилиндра

принималось равным $\frac{u_R^0}{\Gamma_s} = 0,26$ м. В качестве математических моделей, описывающих механическое поведение сплошной среды, были приняты:

- модель 1, описывающая сплошную среду уравнениями линейной теории упругости:

$$K = K_0 = \text{const}, \quad G = G_0 = \text{const}; \quad (16)$$

- модель 2, описывающая сплошную среду уравнениями теории малых упруго-пластических деформаций:

$$K = K_0 = \text{const}, \quad G = G_0 \left(1 - \frac{\Gamma}{2\Gamma_s} \right); \quad (17)$$

- модель 3, описывающая сплошную среду уравнениями деформационной теории пластичности сыпучей среды¹:

$$\begin{cases} K = K_0 - K_0 \frac{q}{\varepsilon} \left(2 - \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2 \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2; \\ G = G_0 \left(1 - \frac{\Gamma}{2\Gamma_s} \right) + K_0 f \frac{q}{\Gamma_s} \left(2 - \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2 \frac{\Gamma}{\Gamma_s} - f K_0 \frac{\varepsilon}{\Gamma}, \end{cases} \quad (18)$$

В уравнениях (16), (17), (18) обозначено: K_0 – начальный коэффициент объёмного расширения (сжатия); G_0 – начальный модуль сдвига при чистом сдвиге; Γ_s – пре-

¹Гениев Г.А. К вопросу о деформационной теории пластичности сыпучей среды // Строительная механика и расчёт сооружений. 1974. №4. С.8-10.

дельная интенсивность деформаций сдвига; f – аналог коэффициента внутреннего трения; q – коэффициент дилатансии.

Следует отметить, что зависимости (16), (17), (18) записаны для геометрически линейной модели сплошной среды. Экстраполяция физических зависимостей на геометрически нелинейную модель сплошной среды выполняется в соответствии с принципом эквивалентности формы записи замыкающих уравнений [5, 6, 7]. В соответствии с этим принципом форма записи физических соотношений (6) и (7) не зависит от того, является ли рассматриваемая модель сплошной среды геометрически линейной или геометрически нелинейной, то есть, другими словами, форма записи зависимостей между инвариантами тензоров деформаций и напряжений в геометрически линейных средах и форма записи зависимостей между инвариантами тензоров нелинейных деформаций и обобщённых напряжений в геометрически нелинейных средах одинаковы.

На рис. 2 представлены вырезки экрана, полученные в среде математического пакета MATLAB, показывающие характер распределения относительных перемещений $\frac{u_R(R)}{\Gamma_s}$ в толще сплошной среды, находящейся в условиях центрально-симметричного деформирования. Сплошная линия соответствует геометрически линейной модели сплошной среды; пунктирная – геометрически нелинейной.

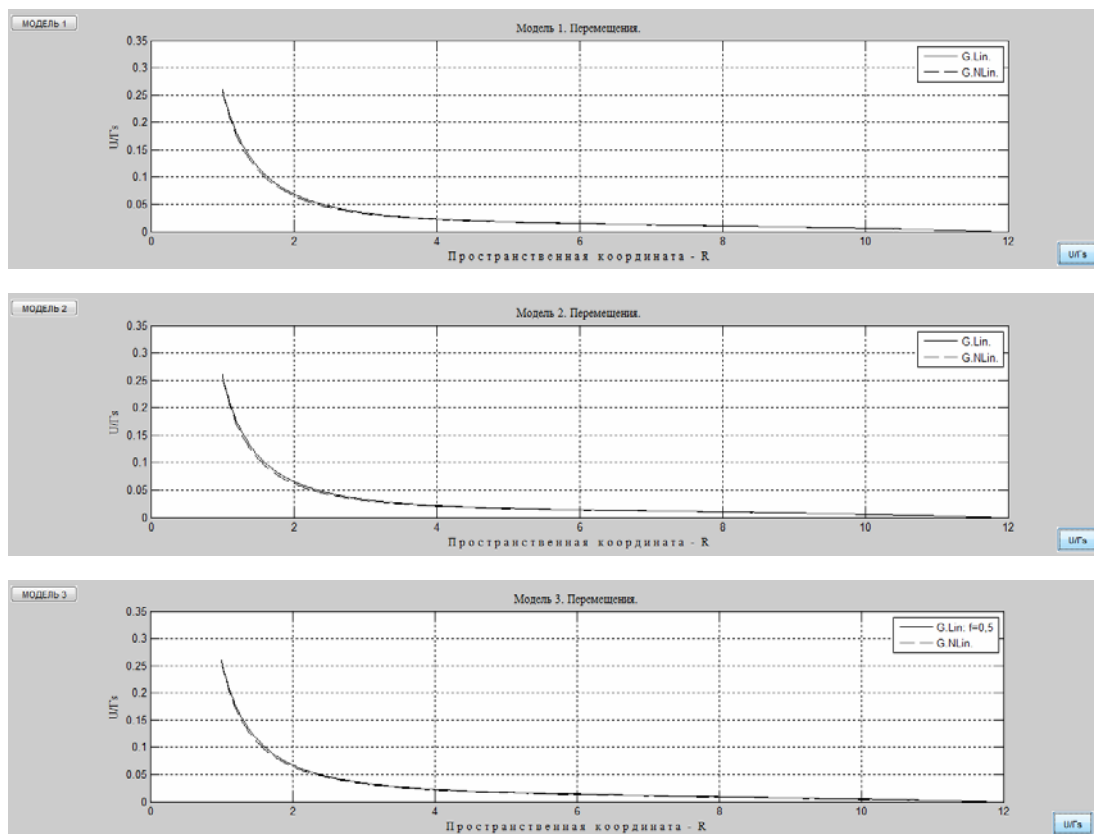


Рис. 2. Характер распределения радиальных перемещений при осе-симметричном деформировании сплошной среды

Кривые, показанные на рис. 2, получены численно. Для построения аналитического выражения для функции перемещений эти кривые были аппроксимированы с использованием программы «CurveExpertProfessional». В результате получена функция, наиболее точно описывающая кривые, представленные на рис. 2:

$$u_R(R) = \frac{a + bR}{1 + cR + dR^2} \Gamma_s. \quad (19)$$

В формуле (19) коэффициенты равны следующим значениям:

- для модели 1
 $a = 0,04322$; $b = 0,12692$; $c = -2,34782$; $d = 2,00637$ (геометрическая линейность);
 $a = 0,01958$; $b = 0,12983$; $c = -2,48650$; $d = 2,06509$ (геометрическая нелинейность);
- для модели 2
 $a = 0,02281$; $b = 0,12875$; $c = -2,470099$; $d = 2,0580$ (геометрическая линейность);
 $a = 0,00250$; $b = 0,13058$; $c = -2,60398$; $d = 2,11987$ (геометрическая нелинейность);
- для модели 3
 $a = 0,22543$; $b = 0,20642$; $c = -2,87809$; $d = 3,54224$ (геометрическая линейность);
 $a = 86279,52531$; $b = 43620,17824$; $c = -334790,16125$; $d = 834758,90738$
 (геометрическая нелинейность).

С учётом соотношения (19) для случая геометрически линейной модели сплошной среды получим:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_R}{\partial R} &= -\frac{ac - b + 2adR + bdR^2}{(1 + cR + dR^2)^2} \Gamma_s; \\ \frac{\partial^2 u_R}{\partial R} &= -2 \frac{ad + bc - ac^2 + 3(b - ac)dR - 3ad^2R^2 - bd^2R^3}{(1 + cR + dR^2)^3} \Gamma_s; \\ \varepsilon_{RR} &= -\frac{ac - b + 2adR + bdR^2}{(1 + cR + dR^2)^2} \Gamma_s; \quad \varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{a + bR}{R(1 + cR + dR^2)} \Gamma_s; \\ \frac{d\varepsilon_{RR}}{du_R} &= -2 \frac{ac^2 - bc - ad + 3d(ac - b)R + 3ad^2R^2 + bd^2R^3}{(1 + cR + dR^2)(ac - b + 2adR + bdR^2)}; \\ \frac{d\varepsilon_{\varphi\varphi}}{du_R} &= \frac{(a + bR)(1 + cR + dR^2)}{R^2(ac - b + 2adR + bdR^2)}. \end{aligned} \quad (20)$$

Соответственно, для случая геометрически нелинейной модели сплошной среды будем иметь:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_R}{\partial R} &= -\frac{ac - b + 2adR + bdR^2}{(1 + cR + dR^2)^2} \Gamma_s; \\ \frac{\partial^2 u_R}{\partial R} &= -2 \frac{ad + bc - ac^2 + 3(b - ac)dR - 3ad^2R^2 - bd^2R^3}{(1 + cR + dR^2)^3} \Gamma_s; \\ \varepsilon_{RR}^* &= -\frac{ac - b + 2adR + bdR^2}{(1 + cR + dR^2)^2} \Gamma_s + \frac{(ac - b + 2adR + bdR^2)^2}{2(1 + cR + dR^2)^4} \Gamma_s^2; \\ \varepsilon_{\varphi\varphi}^* &= -\frac{a + bR}{R(1 + cR + dR^2)} \Gamma_s + \frac{(a + bR)^2}{2R^2(1 + cR + dR^2)^2} \Gamma_s^2; \end{aligned} \quad (21)$$

$$\frac{d\varepsilon_{RR}^*}{du_R} = 2 \frac{\left[ac^2 - bc - ad + 3d(ac - b)R + 3ad^2R^2 + bd^2R^3 \right]}{(1 + cR + dR^2)(ac - b + 2adR + bdR^2)} \times$$

$$\times \left[\frac{ac - b + 2adR + bdR^2}{(1 + cR + dR^2)^2} \Gamma_s - 1 \right];$$

$$\frac{d\varepsilon_{\Phi\Phi}^*}{du_R} = \frac{(a + bR)(1 + cR + dR^2) \left[\frac{a + bR}{R(1 + cR + dR^2)} \Gamma_s + 1 \right]}{R^2(ac - b + 2adR + bdR^2)}.$$

Далее, для анализа неравенств (10) и (11) рассмотрим математические модели сплошной среды.

Случай I. Линейная теория упругости (модель 1).

- Геометрически линейная модель:

$$\sigma = 3K_0\varepsilon, \quad T = G_0\Gamma, \quad \text{то есть } K = 3K_0 = \text{const}, \quad G = G_0 = \text{const}. \quad (22)$$

В этом случае

$$\frac{\partial K}{\partial \varepsilon} = 0; \quad \frac{\partial K}{\partial \Gamma} = 0; \quad \frac{\partial G}{\partial \varepsilon} = 0; \quad \frac{\partial G}{\partial \Gamma} = 0;$$

$$\frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial K}{\partial \varepsilon} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left(\frac{\partial K}{\partial \varepsilon} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial K}{\partial \Gamma} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left(\frac{\partial K}{\partial \Gamma} \right) = 0;$$

$$\frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial G}{\partial \varepsilon} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left(\frac{\partial G}{\partial \varepsilon} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial G}{\partial \Gamma} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left(\frac{\partial G}{\partial \Gamma} \right) = 0,$$

и, следовательно, условие (10) приводится к выражению

$$\frac{dA(u_R)}{du_R} = 0, \quad (23)$$

то есть не выполняется. Это означает, что образование ударной волны, или волны сильного разрыва, в толще массива, находящегося в условиях центрально-симметричного деформирования и описываемого уравнениями линейной теории упругости, невозможно.

- Геометрически нелинейная модель:

$$\sigma^* = 3K_0\varepsilon^*, \quad T^* = G_0\Gamma^*, \quad \text{то есть } K^* = 3K_0 = \text{const}, \quad G^* = G_0 = \text{const}. \quad (24)$$

В этом случае

$$\frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} = 0; \quad \frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} = 0; \quad \frac{\partial G^*}{\partial \varepsilon^*} = 0; \quad \frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*} = 0;$$

$$\frac{\partial}{\partial \varepsilon^*} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma^*} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \varepsilon^*} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma^*} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} \right) = 0;$$

$$\frac{\partial}{\partial \varepsilon^*} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \varepsilon^*} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma^*} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \varepsilon^*} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \varepsilon^*} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma^*} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*} \right) = 0;$$

$$\frac{dK^*}{du_R} = 0; \quad \frac{dG^*}{du_R} = 0; \quad \frac{dX^*}{du_R} = 0; \quad \frac{dY^*}{du_R} = 0; \quad X^* = 0; \quad Y^* = 0;$$

$$\frac{d\sigma_{RR}^*}{du_R} = 3K_0 \frac{d\varepsilon^*}{du_R} + 2G_0 \left(\frac{d\varepsilon_{RR}^*}{du_R} - \frac{1}{3} \frac{d\varepsilon^*}{du_R} \right),$$

и, следовательно, условие (11) приводится к выражению

$$\begin{aligned} \frac{dA^*(u_R)}{du_R} = & 2 \left(1 + \frac{\partial u_R}{\partial R} \right) \left(3K_0 + \frac{4}{3} G_0 \right) \frac{\partial^2 u_R}{\partial R^2} \left(\frac{\partial u_R}{\partial R} \right)^{-1} + \\ & + 3K_0 \frac{d\varepsilon^*}{du_R} + 2G_0 \left(\frac{d\varepsilon_{RR}^*}{du_R} - \frac{1}{3} \frac{d\varepsilon^*}{du_R} \right) > 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Случай II. Теория малых упругопластических деформаций (модель 2).

- Геометрически линейная модель:

$$\sigma = 3K_0 \varepsilon, \quad T = G_0 \left(1 - \frac{\Gamma}{2\Gamma_s} \right) \Gamma, \text{ то есть } K = 3K_0 = \text{const}, \quad G = G_0 \left(1 - \frac{\Gamma}{2\Gamma_s} \right). \quad (26)$$

В этом случае

$$\begin{aligned} \frac{\partial K}{\partial \varepsilon} &= 0; \quad \frac{\partial K}{\partial \Gamma} = 0; \quad \frac{\partial G}{\partial \varepsilon} = 0; \quad \frac{\partial G}{\partial \Gamma} = -\frac{G_0}{2\Gamma_s}; \\ \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial K}{\partial \varepsilon} \right) &= 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left(\frac{\partial K}{\partial \varepsilon} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial K}{\partial \Gamma} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left(\frac{\partial K}{\partial \Gamma} \right) = 0; \\ \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial G}{\partial \varepsilon} \right) &= 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left(\frac{\partial G}{\partial \varepsilon} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial G}{\partial \Gamma} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left(\frac{\partial G}{\partial \Gamma} \right) = 0; \\ \frac{dK}{du_R} &= 0; \quad \frac{dG}{du_R} = \frac{\partial G}{\partial \Gamma} \frac{d\Gamma}{du_R}; \quad \frac{dX}{du_R} = 0; \quad Y = 2 \left(\varepsilon_{RR} - \frac{\varepsilon}{3} \right) \frac{\partial G}{\partial \Gamma}; \\ \frac{dY}{du_R} &= 2 \left(\frac{d\varepsilon_{RR}}{du_R} - \frac{1}{3} \frac{d\varepsilon}{du_R} \right) \frac{\partial G}{\partial \Gamma}; \quad m_1 = \frac{4(\varepsilon_{RR} - \varepsilon_{\text{фп}})}{3\Gamma}; \\ \frac{dm_1}{du_R} &= \frac{4}{3\Gamma^2} \left[\Gamma \left(\frac{d\varepsilon_{RR}}{du_R} - \frac{d\varepsilon_{\text{фп}}}{du_R} \right) - (\varepsilon_{RR} - \varepsilon_{\text{фп}}) \frac{d\Gamma}{du_R} \right] \end{aligned}$$

и, следовательно, условие (10) приводится к выражению

$$\frac{dA(u_R)}{du_R} = \frac{4}{3} \frac{\partial G}{\partial \Gamma} \frac{d\Gamma}{du_R} + m_1 \frac{dY}{du_R} + Y \frac{dm_1}{du_R} > 0. \quad (27)$$

- Геометрически нелинейная модель:

$$\sigma^* = 3K_0 \varepsilon^*, \quad T^* = G_0 \left(1 - \frac{\Gamma^*}{2\Gamma_s} \right) \Gamma^*, \text{ то есть } K^* = 3K_0 = \text{const}, \quad G^* = G_0 \left(1 - \frac{\Gamma^*}{2\Gamma_s} \right). \quad (28)$$

В этом случае

$$\begin{aligned} \frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} &= 0; \quad \frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} = 0; \quad \frac{\partial G^*}{\partial \varepsilon^*} = 0; \quad \frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*} = -\frac{G_0}{2\Gamma_s}; \\ \frac{\partial}{\partial \varepsilon^*} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} \right) &= 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma^*} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \varepsilon^*} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma^*} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} \right) = 0; \\ \frac{\partial}{\partial \varepsilon^*} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \varepsilon^*} \right) &= 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma^*} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \varepsilon^*} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \varepsilon^*} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma^*} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*} \right) = 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{dK^*}{du_R} &= 0; \quad \frac{dG^*}{du_R} = \frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*} \frac{d\Gamma^*}{du_R}; \quad X^* = 0; \quad Y^* = 2 \left(\varepsilon_{RR}^* - \frac{\varepsilon^*}{3} \right) \frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*}; \quad \frac{dX^*}{du_R} = 0; \\ \frac{dY^*}{du_R} &= 2 \left(\frac{d\varepsilon_{RR}^*}{du_R} - \frac{1}{3} \frac{d\varepsilon^*}{du_R} \right) \frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*}; \quad m_1^* = \frac{4(\varepsilon_{RR}^* - \varepsilon_{\varphi\varphi}^*)}{3\Gamma^*}; \\ \frac{dm_1^*}{du_R} &= \frac{4}{3\Gamma^{*2}} \left[\Gamma^* \left(\frac{d\varepsilon_{RR}^*}{du_R} - \frac{d\varepsilon_{\varphi\varphi}^*}{du_R} \right) - (\varepsilon_{RR}^* - \varepsilon_{\varphi\varphi}^*) \frac{d\Gamma^*}{du_R} \right]; \\ \frac{d\sigma_{RR}^*}{du_R} &= 3K_0 \frac{d\varepsilon^*}{du_R} + 2G_0 \left(1 - \frac{\Gamma^*}{2\Gamma_s} \right) \left(\frac{d\varepsilon_{RR}^*}{du_R} - \frac{1}{3} \frac{d\varepsilon^*}{du_R} \right) + 2 \left(\varepsilon_{RR}^* - \frac{\varepsilon^*}{3} \right) \frac{dG^*}{du_R},\end{aligned}$$

и, следовательно, условие (11) приводится к выражению

$$\begin{aligned}\frac{dA^*(u_R)}{du_R} &= 2 \left(1 + \frac{\partial u_R}{\partial R} \right) \left(3K_0 + \frac{4}{3} G_0 \left(1 - \frac{\Gamma^*}{2\Gamma_s} \right) + m_1^* Y^* \right) \times \\ &\times \frac{\partial^2 u_R}{\partial R^2} \left(\frac{\partial u_R}{\partial R} \right)^{-1} + \left(1 + \frac{\partial u_R}{\partial R} \right)^2 \left(\frac{4}{3} \frac{dG^*}{du_R} + m_1^* \frac{dY^*}{du_R} + Y^* \frac{dm_1^*}{du_R} \right) + \frac{d\sigma_{RR}^*}{du_R} > 0.\end{aligned}\quad (29)$$

Случай III. Деформационная теория пластичности сыпучей среды (модель 3).

- Геометрически линейная модель:

$$\begin{cases} \sigma = K_0 \varepsilon - K_0 q \left(2 - \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2 \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2; \\ T = G_0 \left(1 - \frac{\Gamma}{2\Gamma_s} \right) \Gamma + K_0 f q \left(2 - \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2 \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2 - f K_0 \varepsilon, \end{cases}\quad (30)$$

то есть

$$\begin{aligned}K &= K_0 - K_0 \frac{q}{\varepsilon} \left(2 - \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2 \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2; \\ G &= G_0 \left(1 - \frac{\Gamma}{2\Gamma_s} \right) + K_0 f \frac{q}{\Gamma_s} \left(2 - \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2 \frac{\Gamma}{\Gamma_s} - K_0 f \frac{\varepsilon}{\Gamma}.\end{aligned}$$

$$\text{В этом случае } \frac{\partial K}{\partial \varepsilon} = K_0 \frac{q}{\varepsilon^2} \left(2 - \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2 \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2;$$

$$\frac{\partial K}{\partial \Gamma} = -4K_0 \frac{q}{\varepsilon} \frac{\Gamma}{\Gamma_s^2} \left(1 - \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right) \left(2 - \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right);$$

$$\frac{\partial G}{\partial \varepsilon} = -K_0 \frac{f}{\Gamma};$$

$$\frac{\partial G}{\partial \Gamma} = -\frac{G_0}{2\Gamma_s} + K_0 f \frac{q}{\Gamma_s^2} \left(2 - \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right) \left(2 - 3 \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right) + K_0 f \frac{\varepsilon}{\Gamma^2},$$

и, следовательно, условие (10) остаётся без изменения, причём

$$\frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial K}{\partial \varepsilon} \right) = -2K_0 \frac{q}{\varepsilon^2} \left(2 - \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2 \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2;$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left(\frac{\partial K}{\partial \varepsilon} \right) &= 4K_0 \frac{q}{\varepsilon^2 \Gamma_s} \left(2 - \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right) \frac{\Gamma}{\Gamma_s}; \\
 \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial K}{\partial \Gamma} \right) &= 4K_0 \frac{q}{\varepsilon^2 \Gamma_s} \left(1 - \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right) \left(2 - \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right) \frac{\Gamma}{\Gamma_s}; \\
 \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left(\frac{\partial K}{\partial \Gamma} \right) &= -4K_0 \frac{q}{\varepsilon \Gamma_s^2} \left[2 - 6 \frac{\Gamma}{\Gamma_s} + 3 \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2 \right]; \\
 \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial G}{\partial \varepsilon} \right) &= 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left(\frac{\partial G}{\partial \varepsilon} \right) = K_0 \frac{f}{\Gamma^2}; \quad \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\partial G}{\partial \Gamma} \right) = K_0 \frac{f}{\Gamma^2}; \\
 \frac{\partial}{\partial \Gamma} \left(\frac{\partial G}{\partial \Gamma} \right) &= 2K_0 f \left[\frac{q}{\Gamma_s^3} \left(3 \frac{\Gamma}{\Gamma_s} - 4 \right) - \frac{\varepsilon}{\Gamma^3} \right].
 \end{aligned}$$

- Геометрически нелинейная модель:

$$\begin{cases} \sigma^* = K_0 \varepsilon^* - K_0 q \left(2 - \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right)^2 \left(\frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right)^2; \\ T^* = G_0 \left(1 - \frac{\Gamma^*}{2\Gamma_s} \right) \Gamma^* + K_0 f q \left(2 - \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right)^2 \left(\frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right)^2 - f K_0 \varepsilon^*, \end{cases} \quad (31)$$

то есть

$$\begin{aligned}
 K^* &= K_0 - K_0 \frac{q}{\varepsilon^*} \left(2 - \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right)^2 \left(\frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right)^2; \\
 G^* &= G_0 \left(1 - \frac{\Gamma^*}{2\Gamma_s} \right) + K_0 f \frac{q}{\Gamma_s} \left(2 - \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right)^2 \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} - K_0 f \frac{\varepsilon^*}{\Gamma^*}.
 \end{aligned}$$

В этом случае $\frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} = K_0 \frac{q}{\varepsilon^{*2}} \left(2 - \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right)^2 \left(\frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right)^2;$

$$\frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} = -4K_0 \frac{q}{\varepsilon^*} \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s^2} \left(1 - \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right) \left(2 - \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right);$$

$$\frac{\partial G}{\partial \varepsilon} = -K_0 \frac{f}{\Gamma^*};$$

$$\frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*} = -\frac{G_0}{2\Gamma_s} + K_0 f \frac{q}{\Gamma_s^2} \left(2 - \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right) \left(2 - 3 \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right) + K_0 f \frac{\varepsilon^*}{\Gamma^{*2}},$$

и, следовательно, условие (11) остаётся без изменения, причём

$$\frac{\partial}{\partial \varepsilon^*} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} \right) = -2K_0 \frac{q}{\varepsilon^{*2}} \left(2 - \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right)^2 \left(\frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right)^2;$$

$$\frac{\partial}{\partial \Gamma^*} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} \right) = 4K_0 \frac{q}{\varepsilon^2 \Gamma_s} \left(2 - \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right) \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s};$$

$$\frac{\partial}{\partial \varepsilon^*} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} \right) = 4K_0 \frac{q}{\varepsilon^2 \Gamma_s} \left(1 - \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right) \left(2 - \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right) \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s};$$

$$\frac{\partial}{\partial \Gamma^*} \left(\frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} \right) = -4K_0 \frac{q}{\varepsilon \Gamma_s^2} \left[2 - 6 \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} + 3 \left(\frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right)^2 \right];$$

$$\frac{\partial}{\partial \varepsilon^*} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \varepsilon^*} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \Gamma^*} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \varepsilon^*} \right) = K_0 f \frac{f}{\Gamma^{*2}}; \quad \frac{\partial}{\partial \varepsilon^*} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*} \right) = K_0 f \frac{f}{\Gamma^{*2}};$$

$$\frac{\partial}{\partial \Gamma^*} \left(\frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*} \right) = 2K_0 f \left[\frac{q}{\Gamma_s^3} \left(3 \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} - 4 \right) - \frac{\varepsilon^*}{\Gamma^{*3}} \right].$$

На рис. 3 представлены графики функций (10) и (11) для модели 3 (рис. 3,в), (27) и (29) для модели 2 (рис. 3,б), (23) и (25) для модели 1 (рис. 3,а). Сплошная линия соответствует геометрически линейной модели, пунктирная – геометрически нелинейной. Значения механических констант материала сплошной среды принимались следующими: $G_0 = 10$ МПа; $K_0 = 40$ МПа.

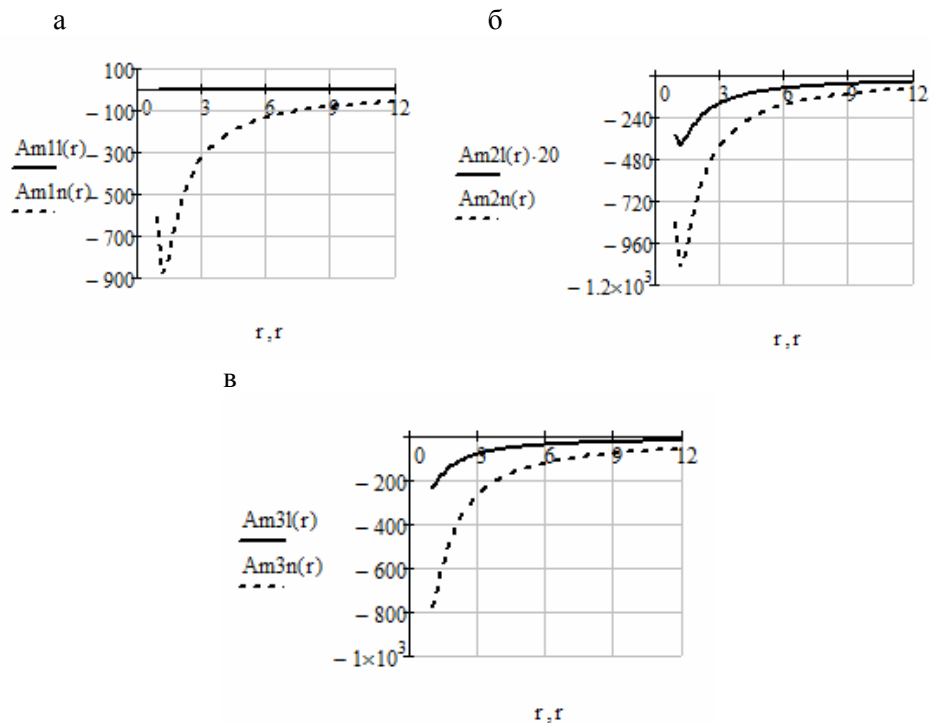


Рис. 3. Характер изменения производных $dA(u_r)/du_r$ и $dA^*(u_r)/du_r$ по длине расчётной области

Оказалось, что в толще массива, находящегося в условиях центрально-симметричного деформирования и описываемого уравнениями геометрически линейной и нелинейной теории упругости (модель 1), уравнениями геометрически линейной и нелинейной теории малых упругопластических деформаций (модель 2), уравнениями геометрически линейной и нелинейной деформационной теории пластичности сыпучей среды (модель 3), образование ударной волны, или волны сильного разрыва, для принятых механических характеристик сплошной среды невозможно (см. рис.3).

Выводы. Для одномерных сферически-симметричных волн деформаций, распространяющихся в сплошных средах, механическое поведение которых описывается как геометрически линейными, так и геометрически нелинейными математическими моделями с учётом физической нелинейности, образование ударной волны, или волны сильного разрыва, при непрерывных краевых условиях определяется как видом математической модели сплошной среды, так и значениями механических характеристик материала сплошной среды. Судить о возможности образования ударных сферических

волн сжатия внутри сплошного массива можно только после решения краевой задачи и определения явного выражения для функции радиального перемещения.

Заключение. Результаты исследований рекомендуется использовать при анализе характера распространения упругопластических сферически-симметричных волн деформаций в сплошных средах, механическое поведение которых описывается математическими моделями с учётом геометрической и физической нелинейности.

Список литературы

1. Бакушев, С.В. К вопросу о формировании одномерных волн сильного разрыва в сплошных средах / С.В. Бакушев // Строительная механика и расчёт сооружений. – 2011. – №4. – С.11–15.
2. Бакушев, С.В. К вопросу о возможности формирования плоских ударных волн в сплошных средах / С.В. Бакушев // Строительная механика и расчёт сооружений. – 2012. – №2. – С.70–76.
3. Бакушев, С.В. Некоторые вопросы центрально- и осесимметричного деформирования геометрически-нелинейной сплошной среды / С.В. Бакушев // Известия ВУЗов. Строительство. – 1996. – №8. – С.25–31.
4. Бакушев, С.В. Расчёт напряжённо-деформированного состояния массивных тел («KkzA») / С.В. Бакушев // Программное средство, зарегистрировано в информационно-библиотечном фонде Российской Федерации. Регистрационный № 50200100042. – ГКЦИТ, ОФАП, 2001.
5. Бакушев, С.В. Вариант построения расчётных моделей геометрически-нелинейных сплошных сред / С.В. Бакушев // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. – 1991. – №9. – С.24–29.
6. Бакушев, С.В. К вопросу о замыкающих уравнениях в геометрически-нелинейной механике / С.В. Бакушев // Известия ВУЗов. Строительство. – 1997. – №5. – С.17–20.
7. Бакушев, С.В. К вопросу о замыкающих уравнениях при центрально- и осесимметричном деформировании геометрически-нелинейной сплошной среды / С.В. Бакушев // Известия ВУЗов. Строительство. – 1997. – №12. – С.30–35.

References

1. Bakushev, S.V. About the question of the shaping of one-dimensional waves of strong discontinuity in continuous mediums / S.V. Bakushev // Building mechanics and Structural analysis. – 2011. – No.4. – P.11–15.
2. Bakushev, S.V. About the question of possibility of the shaping of plane shock waves in the continuous mediums / S.V. Bakushev // Building mechanics and Structural analysis. – 2012. – No.2. – P.70–76.
3. Bakushev, S.V. Some questions about Central and axisymmetric deformation of geometrically nonlinear medium / S.V. Bakushev // News of Higher Educational Institutions. Construction. – 1996. – No.8. – P. 35–31.
4. Bakushev, S.V. Analysis of stress-strain state of massive bodies (« KkzA») / S.V. Bakushev // The software is registered in the information and library fund of the Russian Federation. Registration number is 50200100042. – GK TsIT [Group of companies «Center of Innovative Technologies»], OFAP [Industry fund of algorithms and programs], 2001.
5. Bakushev, S.V. Variant of creating design models of geometrically nonlinear continuum mediums / S.V. Bakushev // News of Higher Educational Institutions. Construction and architecture. – 1991. – No.9. – P. 24–29.
6. Bakushev, S.V. About the question of the closing equations in geometrically nonlinear mechanics / S.V. Bakushev // News of Higher Educational Institutions. Construction. – 1997. – No.5. – P. 17–20.
7. Bakushev, S.V. About the question of the closing equations with the central and axisymmetric deformation of geometrically nonlinear medium / S.V. Bakushev // News of Higher Educational Institutions. Construction. – 1997. – No.12. – P. 30–35.

УДК 66.021+628.233/536.248

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

Береговой Александр Маркович,
доктор технических наук,
профессор кафедры «Городское
строительство и архитектура»
E-mail: ambereg@rambler.ru

Береговой Виталий Александрович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»
E-mail: vabereg@rambler.ru

Викторова Ольга Леонидовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Городское строительство
и архитектура»
E-mail: gsia@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Beregovoy Aleksandr Markovich,
Doctor of Sciences,
Professor of the department «Urban
construction and Architecture»
E-mail: ambereg@rambler.ru

Beregovoy Vitaliy Aleksandrovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Technology of building materials
and wood processing»
E-mail: vabereg@rambler.ru

Viktorova Olga Leonidovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Urban construction and
Architecture»
E-mail: gsia@pguas.ru

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА И ВОЗДУХООБМЕНА В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ И ЗДАНИЯХ СОВРЕМЕННОГО ТИПА

А.М. Береговой, В.А. Береговой, О.Л. Викторова

Дается анализ влияния на обобщенный критерий K_{ui} энергетической потребности здания локальных критериев оптимальности (ЛКО), присущих энергоэффективным, «интеллектуальным» зданиям и биодомам. Показано, что для зданий этого типа в качестве ЛКО можно рассматривать регулируемые процессы теплообмена и воздухообмена в наружных ограждениях и помещениях.

Ключевые слова: регулирование процессов, теплообмен, воздухообмен, ограждающие конструкции, здания современного типа, локальные критерии оптимальности, эффект энергосбережения

REGULATION THE PROCESSES OF HEAT AND MASS TRANSFER AND AIR EXCHANGE IN EXTERNAL ENCLOSURE STRUCTURES AND MODERN TYPE BUILDINGS

A.M. Beregovoy, V.A. Beregovoy, O.L. Victorova

The authors give the analysis of the impact of energy demand of a building of the local optimality criteria (LOC) inherent to energy-efficient, «intelligent» and «ecological» buildings on the generalized criterion K_{ui} . It is shown that for buildings of this type the adjustable processes of heat – mass transfer and air exchange in the external enclosures and buildings can be considered as LOC.

Keywords: regulation of processes, heat and mass transfer, air exchange, external enclosing structures, buildings of the modern type, local optimality criteria, heat losses, energy-saving effect

В [1] для решения задачи по минимизации расхода тепловой энергии рассматривается обобщенный критерий K_{ui} энергетической потребности, определяемый для различных вариантов проектирования на основании безразмерных локальных критериев оптимальности k (ЛКО), которые умножаются на коэффициенты весомости

$$K_{ui}^* = \sum_{j=1}^n g_j k_{ij} + \sum_{j=1}^n g_j^* k_{ij}^* r. \quad (1)$$

Очевидно, что на обобщенный критерий K_{ui} энергетической потребности непосредственное влияние оказывают ЛКО, присущие зданиям того или иного типа.

В практике проектирования и строительства за последние годы получили распространение энергоэффективные здания, биодома и в меньшей степени – «интеллектуальные» здания.

Для энергоэффективного здания можно оптимизировать ЛКО, представляющие собой теплотехнические показатели материала и ограждающих конструкций, геометрические и теплоэнергетические параметры здания, которые определяют его потребность в тепловой энергии при условии обеспечения комфортных условий микроклимата помещений. Расчетные значения упомянутых показателей и параметров определяются на основании удельных теплозащитных $k_{об}$ и вентиляционных $k_{вент}$ характеристик здания [2]

$$k_{об} = (1/V) \sum \frac{n_{ji} A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{np}}, \quad (2)$$

$$k_{вент} = 0,28cn_B \beta_v \rho_B^{вент} (1 - k_{эфф}). \quad (3)$$

Для энергоэффективного здания значительный эффект в снижении теплотерь обеспечивается повышением тепловой защиты наружных ограждающих конструкций. С этой целью их изготавливают из эффективных теплоизоляционных материалов, которые для многослойных ограждений располагаются в виде специальных конструктивных слоев в средней части конструкции или у ее наружной поверхности под тонким защитным слоем.

При проектировании энергоэффективного здания важно учитывать, что высокий уровень тепловой защиты ограждений, даже в виде так называемой суперизоляции, хотя и снижает на значительную величину тепловые потери помещений, но не решает в целом проблему формирования надлежащего воздухообмена и обеспечения требуемого экологического состояния внутренней воздушной среды. Помещения зданий нуждаются в определенном объеме приточного воздуха, который, будучи холодным в зимнее время года, может значительно (до 50 %) понизить теплосодержание внутреннего воздуха и нарушить тем самым основную функцию энергоэффективного здания по минимизации тепловых потерь. Поэтому оптимизация локального критерия, обеспечивающего воздухообмен в помещениях, представляется крайне важной для формирования требуемого теплового режима энергоэффективных зданий и экологически чистой внутренней среды проживания в экодумах.

Помимо этого для экодума оптимизируются такие ЛКО, как содержание токсических веществ и количество микрофлоры в воздухе помещений, уровень радиоактивного излучения газа радона, экологическая чистота строительных, в том числе отделочных материалов [3].

Ухудшение первых трех параметров состояния воздушной среды связано с неэффективной работой системы вентиляции здания и происходит в плохо вентилируемых воздушных зонах помещения, в которых увеличивается концентрация токсических веществ, а на частичках пыли накапливаются разнообразная, в том числе болезнетворная, микрофлора и положительно заряженные частички газа радона.

Оптимизируемыми ЛКО для «интеллектуального» и других типов зданий современного типа могут быть регулируемые физические процессы в наружном ограждении, а также свойства его материалов и параметров микроклимата помещений.

В работах отечественных ученых в области строительной теплофизики отмечается возможность возникновения такого физического процесса в наружной ограждающей конструкции, как экономайзерный эффект. Инфильтрационный поток воздуха, подогреваясь в наружном ограждении в процессе противоточного движения уходящего теплового потока, может заменить определенное количество холодного приточного воздуха в системе естественной вентиляции и тем самым обеспечить энергосберегающий эффект.

Регулируемость экономайзерного, а следовательно, и энергосберегающего эффекта может быть выполнена с использованием следующих уравнений [4]:

$$\tau_b = t_n + (t_b - t_n) \cdot \frac{e^{c_n \cdot w \cdot R} - 1}{e^{c_n \cdot w \cdot R_0} - 1}, \quad (4)$$

$$q_u = \frac{c_b \cdot w \cdot e^{c_n \cdot w \cdot R}}{e^{c_n \cdot w \cdot R_0} - 1} \cdot (t_b - t_n), \quad (5)$$

$$\Delta P = -0,8 \cdot \left[-g \cdot (\gamma_n - \gamma_b) \cdot H - 0,6 \frac{(0,6 \cdot v)^2 \cdot \gamma_n}{2} \right] \quad (6)$$

$$w_{\text{инф}} = \Delta P / \sum R_{\text{и}} \quad (7)$$

$$\Delta Q_{\text{вент}} = 0,28 \cdot \Delta w_{\text{вент}} \cdot \gamma_n \cdot c_b \cdot (t_b - t_n), \quad (8)$$

$$t_n < \tau_{\text{инф}} < t_b, \quad (9)$$

где τ_b и q_u – соответственно значения температуры и теплового потока на внутренней поверхности ограждения при инфильтрации холодного воздуха; ΔP – приближенное значение разницы давлений воздуха с внешней и внутренней стороны ограждения, Па; $w_{\text{инф}}$ – количество инфильтрующегося воздуха, кг/(м² · ч); ΔQ – уменьшение количества тепла на подогрев части необходимого объема вентиляционного воздуха в результате экономайзерного эффекта; t_n , $\tau_{\text{инф}}$, t_b – температуры воздуха, соответственно, приточного в системе естественной вентиляции, поступающего с внутренней поверхности ограждения, внутреннего воздуха.

Расчеты по формулам (4)–(9) показывают, что экономия тепла с учетом экономайзерного эффекта при инфильтрации воздуха через наружную конструкцию стены с пористой структурой материала (например, керамзитобетон с плотностью 900 кг/м³, шлакопемзобетон, кирпичная кладка на цементно-шлаковом растворе) может варьироваться в пределах от 3,4 % для 2-этажного дома до 18 % для 12-этажного дома.

Основными критериями регулируемости экономайзерного эффекта являются сопротивление воздухопроницанию конструкции $R_{\text{и}}$, влияющее на количество инфильтрующегося воздуха $w_{\text{инф}}$, и количество поступающего холодного приточного воздуха $w_{\text{вент}}$. Но если величину $R_{\text{и}}$ можно отрегулировать на стадии проектирования материала и конструктивного решения наружного ограждения, и она остается практически неизменной в процессе эксплуатации здания, то величина $w_{\text{вент}}$ постоянно меняется в зависимости от климатических условий, режима функционирования системы вентиляции и случайного характера открывания створок окон для притока воздуха. Как показывают результаты проведенных натурных обследований, традиционная система естественной вентиляции в многоэтажных жилых зданиях с использованием поэтажных вентблоков и оконных конструкций из стеклопакетов не удовлетворяет требованиям воздухообмена помещений [5].

Анализ механизма возникновения экономайзерного эффекта и его взаимосвязи с воздухообменом помещений указывает на необходимость включения в систему «экономайзерный эффект – естественная вентиляция здания» специальных устройств

по автоматическому регулированию притока воздуха. Результаты зарубежных и отечественных исследований показывают, что определенная регулируемость притока вентиляционного воздуха достигается посредством аэростатов в окнах и стеновых клапанов в наружных стенах. Первые устройства, в отличие от вторых, уже получили распространение в отечественной практике жилищного строительства. Преимущество клапанов по сравнению с аэростатами заключается в том, что они позволяют не только регулировать приток воздуха, но и за счет специальной изоляции предотвращать проникновение холодного воздуха через их конструкцию внутрь помещения и понижать уровень шума со стороны улицы.

Для эксплуатируемых зданий, в отличие от проектируемых, выбор ЛКО, влияющих на обобщенный критерий $K_{\text{из}}$, ограничен, особенно что касается тех из них, которые связаны с объемно-планировочными решениями. Основной массив эксплуатируемой жилой застройки составляют здания традиционного типа, построенные до повышения требований по их тепловой защите. Поэтому в проектных решениях по термомодернизации этих зданий очень важно определить ЛКО, оптимизация которых может радикальным образом изменить величину основной целевой функции и повысить адаптированность сооружения к природно-климатическим условиям местности и особенностям застройки [6,7]. Здесь на первый план выходят архитектурно-конструктивные и технические энергосберегающие мероприятия по повышению упомянутых выше теплозащитных и вентиляционных характеристик здания.

Выводы.

1. Показано, что для достижения энергосберегающего эффекта в системе «экономайзерный эффект – естественная вентиляция здания» (ЭЕВ) необходима правильная взаимоувязка рассчитанных по формулам (4)-(9) количества и температуры инфильтрующегося воздуха с такими же показателями приточного воздуха. Учитывая нестационарность климатических воздействий, такую взаимоувязку воздушного баланса здания с экономайзерным эффектом проводят как на стадии проектирования здания, так и на стадии его эксплуатации в характерные периоды года с начала отопительного сезона: переходы на осень-весну, периоды резкого похолодания или стабильного усиления доминирующего ветра.

2. На стадии эксплуатации здания показана возможность выполнения регулировки количества приточного воздуха в системе ЭЕВ вручную при наличии стенового клапана путем вращения внутренней крышки устройства.

Список литературы

1. Береговой, А.М. Показатели эффективности в системном анализе теплопотерь через энергосберегающие наружные ограждения / А.М. Береговой, О.Л. Викторова, В.А. Береговой // Известия Вузов. Строительство. – 2009. – № 5. – С. 57–61.
2. СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23–02–2003. – М.: НИИСФ РААСН, 2012. – 95 с.
3. Береговой, А.М. Экологические параметры в архитектурно-строительном проектировании здания как единой энергетической и экологической системы / А.М. Береговой, М.А. Дерина, А.С. Щеглова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1. – URL: www.science-education.ru/121-18447 (дата обращения 09.04.2015).
4. Эффект энергосбережения в помещении с естественной вентиляцией в условиях инфильтрации воздуха через наружную стену / А.М. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Дерина, А.В. Гречишкин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №3. – С. 140–144.
5. Береговой, А.М. Наружные ограждающие конструкции в системе воздухообмена жилого многоквартирного здания / А.М. Береговой, М.А. Дерина // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – URL: www.science-education.ru/121-17257 (дата обращения: 04.02.2015).

6. Тепловая эффективность эксплуатируемых жилых зданий / А.М. Береговой, В.А. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Петрянина // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – №1. – С. 107–111.

7. Методология учета природно-климатических условий в архитектурном проектировании / Л.Н. Петрянина, О.Л. Викторова, М.А. Дерина, В.В. Викторова // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2014. – №9 (31). – С. 57–59.

References

1. Beregovoy, A.M. Performance indicators in the system analysis of the heat losses through the exterior enclosure structures / A.M. Beregovoy, O.L. Viktorova, V.A. Beregovoy // News of higher educational institutions. – 2009. – No. 5. – P. 57–61.

2. SP 50.13330.2012. Thermal protection of buildings. Actualized edition of SNiP 23-02-2003. – M.: NIISF RAASN, 2012. – 95 p.

3. Beregovoy, A.M. The ecological parameters in architecture and construction design of building as united energy and ecological system / A.M. Beregovoy // Modern problems of science and education. – 2015. – No.1. – URL: www.science-education.ru/121-18447 (accessed on 09.04.2015).

4. The effect of energy saving in room with natural ventilation in terms of air infiltration through exterior wall / A.M. Beregovoy, A.V. Maltsev, M.A. Derina, A.V. Grechishkin // Regional architecture and engineering. – 2013. – №3. – С. 140–144.

5. Beregovoy, A.M. External enclosing structures in the system of ventilation of residential high-rise buildings / A.M. Beregovoy, M.A. Derina // Modern problems of science and education. – 2015. – No. 1. – URL: www.science-education.ru/121-17257 (date: 04.02.2015).

6. Thermal efficiency of the residential buildings during their maintenance / A.M. Beregovoy, V.A. Beregovoy, A.V. Maltsev, M.A. Petryanina // Regional architecture and engineering. – 2012. – № 1. – P. 107–111.

7. The methodology of accounting the climatic conditions in architectural design / L.N. Petryanina, O.L. Viktorova, M.A. Derin, V.V. Viktorova // New University. Series: Technical science. – 2014. – No. 9 (31). – P. 57–59.

УДК 551.521.1 + 546

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Береговой Александр Маркович,
доктор технических наук,
профессор кафедры «Городское
строительство и архитектура»
E-mail: ambereg@rambler.ru

Береговой Виталий Александрович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»
E-mail: vabereg@rambler.ru

Викторова Ольга Леонидовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Городское строительство
и архитектура»
E-mail: gsia@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Beregovoy Aleksandr Markovich,
Doctor of Sciences,
Professor of the department «Urban
construction and Architecture»
E-mail: ambereg@rambler.ru

Beregovoy Vitaliy Aleksandrovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Technology of building materials
and wood processing»
E-mail: vabereg@rambler.ru

Viktorova Olga Leonidovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Urban construction and
Architecture»
E-mail: gsia@pguas.ru

ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ЭНЕРГОАКТИВНОЙ СТЕНЫ В СИСТЕМЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ И ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ

А.М. Береговой, В.А. Береговой, О.Л. Викторова

Дается оценка теплоаккумулирующей способности энергоактивной конструкции наружной стены, имеющей систему пассивного использования солнечной энергии (СПИСЭ), с учетом условной температуры наружного воздуха. Рассмотрен механизм передачи накопленного тепла в воздушную среду помещения через посредство вентилируемой воздушной прослойки в конструкции наружного ограждения. Показана взаимосвязь тепломассообмена энергоактивной стены с системой отопления и естественной вентиляции здания.

Ключевые слова: система естественной вентиляции, система отопления, энергоактивная стена, воздушная прослойка, теплоаккумулирующие свойства

HEAT ACCUMULATION PROPERTIES OF THE ENERGY ACTIVE WALL IN THE SYSTEM OF NATURAL VENTILATION AND HEATING OF THE BUILDING

A.M. Beregovoy, V.A. Beregovoy, O.L. Viktorova

There was given the estimation of heat accumulation properties of energy active external wall with passive solar energy system (PSES), subjected to conditional outside air temperature. The mechanism was considered on the transfer of the accumulated heat into the air of the room through a ventilated air gap in the construction solution of outer enclosure. There was shown the relationship of heat and mass transfer of energy active wall with a system of heating and natural ventilation of the building.

Keywords: natural ventilation system, heating system, energy active wall, air gap, heat accumulation properties

При проектировании наружных ограждений в последние годы получила развитие система пассивного использования солнечной энергии (СПИСЭ) – одно из весьма перспективных направлений в строительстве, органически объединяющее архитектуру и энергетику. Эта система основана на сочетании в энергоактивной конструкции ограждения внутреннего слоя с большой теплоаккумулирующей способностью и наружного лучепрозрачного слоя с воздушной прослойкой. Поверхность внутреннего слоя может быть окрашена в черный цвет или иметь селективное покрытие, активно поглощающее солнечную радиацию.

В отличие от обычных конструкций ограждений, рассеивающих в атмосферу до 90 % энергии падающего теплового излучения солнца в холодное время года, ограждения со светопрозрачным экраном могут аккумулировать значительное количество тепла солнечной радиации [1], которое в условиях холодного климата, как правило, оказывается недостаточным для удовлетворения потребности здания в отоплении.

Однако при благоприятных климатических факторах в осенне-весенний период года (достаточная облученность поверхности ограждения, плюсовая температура наружного воздуха) и при хорошем конструктивном решении системы СПИСЭ здание может обогреваться теплом солнечной радиации без дополнительного источника тепла.

Критериальный анализ параметров теплообмена в энергоактивной ограждающей конструкции показывает, что она должна иметь теплоаккумулирующую способность, достаточную для восприятия всего количества тепла солнечной радиации [2].

К недостаткам данной конструкции стены, сдерживающим ее широкое использование в практике строительства, относятся:

- возможность наступления перегрева помещений в летний период эксплуатации здания в процессе интенсивной солнечной радиации;
- возникновение температурных напряжений и деформаций в светопроницаемом теплоизоляционном слое в условиях высоких температур наружного воздуха;
- относительно большой срок окупаемости, достигающий в отдельных случаях 20 лет.

Вышеперечисленные недостатки можно значительно преуменьшить путем использования в конструкции ограждения вентилируемых воздушных прослоек, а также архитектурно-строительных мероприятий по борьбе с перегревом наружной ограждающей конструкции (например светозащитных устройств). Опыт проектирования и эксплуатации зданий показывает, что наружные ограждения с вентилируемыми воздушными прослойками по сравнению со сплошными конструкциями имеют меньшую массу и превосходят последние по энергоэффективности. Энергосберегающие ограждающие конструкции с экранной теплоизоляцией позволяют в зависимости от ее месторасположения отражать часть теплового потока как со стороны помещения, так и со стороны падающего солнечного облучения [3].

Задача проведенного исследования заключалась в определении теплоаккумулирующей способности внутреннего слоя системы СПИСЭ для конструкции наружной стены с воздушной прослойкой, в уточнении механизма передачи накопленного тепла в воздушную среду помещений, а также в нахождении требуемого количества дополнительного тепла для удовлетворения тепловой потребности здания.

Теплоаккумулирующую способность внутреннего слоя системы СПИСЭ можно определить из следующего выражения:

$$Q_c = g \cdot c \cdot d \cdot F \cdot Dt \cdot z. \quad (1)$$

Величина теплового потока солнечной радиации, проходящего через стену со светопрозрачным экраном, зависит от условной температуры наружного воздуха t_n^y , определенной с учетом воздействия солнечного излучения для ограждения с экраном [4]:

$$Q_s = (t_n^y - t_b) k \cdot F \cdot z, \quad (2)$$

где

$$k = \lambda / \delta,$$

$$t_n^y = \tau \cdot \alpha \cdot I \cdot R_o^{\text{экp}};$$

здесь τ и α – коэффициенты затенения и относительного проникания солнечной радиации через лучепрозрачный экран.

Определив из уравнения (2) площадь системы $F = Q / (t_n^y - t_b) k \cdot z$, найдем теплоаккумулирующую способность стены со светопрозрачным экраном

$$Q_c = \gamma \cdot c \cdot \delta^2 \cdot Q_s \cdot \Delta t / (\tau \cdot \alpha \cdot I \cdot R_0^{\text{экп}} - t_b) \cdot \lambda \cdot z. \quad (3)$$

Рассмотрим два условия эксплуатации здания, имеющего систему СПИСЭ:

1. Интенсивность солнечной радиации и температура наружного воздуха таковы, что дополнительного отопления не требуется. В этих условиях «критической облученности» количество тепла, поступающего через стену, будет равно теплопотерям помещения (здания).

2. Тепла солнечной радиации недостаточно для удовлетворения потребности помещения (здания) в отоплении ($Q_s < Q_{\text{потр}}$), и требуется дополнительное отопление.

При первом условии количество поступающего или теряемого тепла можно определить по формуле

$$Q_s = (q_k + q_{\text{вент}}) (t_b - t_n). \quad (4)$$

Определив из уравнения (1) площадь светопрозрачного экрана

$$F = Q_c / \gamma \cdot c \cdot \delta \cdot \Delta t \cdot z,$$

найдем с учетом уравнений (1) и (2)

$$Q_s = (t_n^y - t_b) \lambda \cdot Q_c \cdot z / \gamma \cdot c \cdot \delta \cdot \Delta t \cdot z = (t_n^y - t_b) \lambda \cdot Q_c / \gamma \cdot c \cdot \delta^2 \cdot \Delta t, \quad (5)$$

а с учетом уравнения (4):

$$(t_n^y - t_b) \lambda \cdot Q_c / \gamma \cdot c \cdot \delta^2 \cdot \Delta t = (q_k + q_{\text{вент}}) (t_b - t_n), \quad (6)$$

откуда теплоаккумулирующая способность внутреннего слоя СПИСЭ, достаточная для удовлетворения потребности помещения (здания) в отоплении:

$$Q_c = \gamma \cdot c \cdot \delta^2 \cdot \Delta t (q_k + q_{\text{вент}}) (t_b - t_n) / (t_n^y - t_b) \lambda. \quad (7)$$

Для второго условия имеем:

$$(t_n^y - t_b) k \cdot F \cdot z + Q_{\text{доп}} = (q_k + q_{\text{вент}}) (t_b - t_n), \quad (8)$$

или

$$[(t_n^y - t_b) \lambda \cdot Q_c / \gamma \cdot c \cdot \delta^2 \cdot \Delta t] + Q_{\text{доп}} = (q_k + q_{\text{вент}}) (t_b - t_n). \quad (9)$$

Энергоактивные наружные ограждения должны обладать способностью не только поглощать и накапливать тепло природной среды, но и активно передавать его в воздушную среду помещений зданий. Рассмотрим случай, когда подогретый воздух из системы СПИСЭ, побуждаемый вентилятором, поступает в воздушную среду помещения через посредство воздушной прослойки в наружной стене.

В соответствии с поставленной задачей исследования был выполнен анализ целесообразности применения с этой целью расчетной модели, основанной на использовании среднесуточной температуры t_x воздуха в вентилируемой прослойке наружного ограждения (по Богословскому В.Н.). Математическое описание этой модели состоит из следующей системы уравнений [5]:

$$t_x = t_c - (t_c - t_n) \cdot e^{-Ax}, \quad (10)$$

где $t_c = C_0 / D_0$

Оценочные критерии C_0 и D_0 связаны с коэффициентами теплообмена и термическими сопротивлениями конструктивных слоев наружного ограждения. Величина A в уравнении (1) определяется по формуле

$$A = \alpha_k \cdot D_0 / (G \cdot c), \quad (11)$$

где α_k – коэффициент конвективного теплообмена между воздухом в прослойке и её поверхностями,

$$\alpha_k = 3,25 \cdot \delta_{\text{пр}}^{-0,2} \cdot v_{\text{пр}}^{0,8}; \quad (12)$$

здесь $\delta_{\text{пр}}$ – высота прослойки, м; $v_{\text{пр}}$ – скорость движения воздуха в прослойке, м/с; G – количество воздуха, проходящего через прослойку,

$$G = v_{\text{пр}} \cdot \rho \cdot \delta_{\text{пр}} \cdot \delta_{\text{пр}}^I; \quad (13)$$

здесь ρ – плотность приточного воздуха, кг/м³; $\delta_{\text{пр}}^I$ – ширина прослойки, м; c – удельная теплоёмкость воздуха, $c = 1005$ Дж/(кг·°C).

Рассмотренный способ утилизации уходящего теплового потока наружным ограждением дает возможность уменьшить количество тепла на подогрев приточного вентиляционного воздуха, поступающего не из традиционных приточных отверстий (через форточки, фрамуги и т.п.), а из воздушной прослойки наружного ограждения.

Выводы.

1. Получены аналитические зависимости по оценке теплоаккумулирующей способности системы СПИСЭ для условий эксплуатации здания с дополнительным отоплением или без него, а также по определению величины дополнительного отопления при дефиците тепла, поступающего из системы СПИСЭ.

2. Показано, что найденное по расчетной модели значение температуры t_x подогретого воздуха, выходящего из вентилируемой воздушной прослойки в количестве G , позволяет приближенно оценить эффективность утилизации тепла, выделяемого аккумулярующим конструктивным слоем. Эффект энергосбережения заключается в том, что именно на величину G можно уменьшить количество холодного вентиляционного воздуха, поступающего в помещение через традиционное приточное отверстие.

Список литературы

1. Наружные ограждающие конструкции, адаптированные к использованию энергии природной среды / А.М. Береговой, А.П. Прошин, В.А. Береговой, А.В. Греchiшкин // Известия вузов. Строительство. – 2005. – № 2. – С.4–8.
2. Береговой, А.М. Показатели эффективности в системном анализе теплопотерь через энергосберегающие наружные ограждения / А.М. Береговой, О.Л. Викторова, В.А. Береговой // Известия Вузов. Строительство. – 2009. – № 5. – С. 57–61.
3. Вытчиков, Ю.С. Математическое моделирование стационарного теплообмена в утепленных ограждающих конструкциях с применением экранной теплоизоляции / Ю.С. Вытчиков, М.Е. Сапарев // Научное обозрение. – 2015. – №7. – С.53–57.
4. Сафронов, В.К. Наружные ограждения зданий с лучепрозрачным экраном в условиях юга Дальнего Востока: автореф. дис. ... к.т.н. / В.К. Сафронов. – Владивосток, 1993. – 24 с.
5. Наружное ограждение, утилизирующее тепло уходящего воздуха из помещения / А.В. Мальцев, А.М. Береговой, В.А. Береговой, М.А. Дерина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1. – С. 123–127.

References

1. External enclosure structures, adapted to the use of the energy of the natural environment / A.M. Beregovoy, A.P. Proshin, V.A. Beregovoy, A.V. Grechishkin // News of higher educational institutions. Construction. – 2005. – No. 2. – P. 4–8.
2. Beregovoy, A.M. Performance indicators in the system analysis of the heat losses through the exterior enclosure structures / A.M. Beregovoy, O.L. Viktorova, V.A. Beregovoy // News of higher educational institutions. – 2009. – No. 5. – P. 57– 61.
3. Vytchikov, Y.S. Mathematical modeling of stationary heat transfer in insulated enclosure structures with the use of screen thermal insulation / Y. S. Vytchikov, M. E. Sapaev // Scientific review. – 2015. – №7. – P. 53–57.
4. Safronov, V.K. External enclosures of buildings with transparent screen in conditions of South Far East: Abstract of. Diss. Ph. D. / V.K. Safronov. – Vladivostok, 1993. – 24 p.
5. Enclosure structures utilizing removed room air heat / A.V Maltsev, A.M. Beregovoy, V.A. Beregovoy, M.A. Derina // Regional architecture and engineering. – 2014. – No.1. – P. 123–127.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Мигунов Виктор Николаевич,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Городское строительство
и архитектура»

Шамшина Ксения Викторовна, аспирантка
кафедры «Строительные конструкции»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Migunov Viktor Nikolaevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Urban development and
architecture»

Shamshina Kseniya Viktorovna,
Postgraduate of the department «Building
structures»

ЖЁСТКОСТЬ И КРИВИЗНА ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЖИДКОЙ ХЛОРИДСОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЕ (РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ)

В.Н. Мигунов, К.В. Шамшина

Представлена разработанная методика и результаты длительных экспериментальных исследований жёсткости и кривизны железобетонных конструкций в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки и жидкой хлоридсодержащей среды.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, жёсткость, кривизна, переменная, постоянная нагрузка, жидкая хлоридсодержащая среда, результаты исследования, использование

THE RIGIDITY AND CURVATURE OF FLEXIBLE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN LIQUID CLORIDECONTAINING ENVIRONMENT (THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES)

V.N. Migunov, K.V. Shamshina

Presents the developed methods and results of long-term experimental studies of the rigidity and curvature of reinforced concrete structures under the impact of variable and constant bending loads, and liquid chloride environment.

Keywords: reinforced concrete structures, stiffness, curvature, variable , constant load, liquid chloridecontaining environment, results of the study, use

Воздействию жидких хлоридсодержащих сред в процессе эксплуатации подвергаются не менее 75 % инженерных конструкций в дорожно-мостовом хозяйстве, на предприятиях металлургической, химической, нефтехимической, целлюлозно-бумажной, текстильной и пищевой промышленности, а также на объектах, расположенных вблизи морских побережий [1].

Жидкие среды, содержащие хлорид-ионы, представляют наибольшую опасность для снижения долговечности железобетонных конструкций, так как в процессе диффузии во внутренний объём бетона они связываются в малорастворимые соединения лишь частично [2]. Проникая в железобетонные конструкции, хлорид-ионы вызывают коррозию арматуры, которая определяет нормативную работоспособность железобетонных конструкций в зданиях и инженерных сооружениях [3].

Нормативная долговечность железобетонных конструкций с горячекатаной пластичной арматурой в процессе эксплуатации обеспечивается при соблюдении условия

отсутствия коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона вдоль несущих арматурных стержней [4].

В мировой практике транспортного строительства сборный железобетон практически заменил металл в мостах с малыми и средними пролётами ($L < 33,5$ м), в которых возникновение коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона в результате коррозии арматуры является характерной особенностью [5]. Вместо нормативных 70...120 лет эксплуатации несущих железобетонных конструкций мостов из цементных бетонов фактический срок их службы составляет 30...50 лет безаварийной работы [6]. В настоящее время девятнадцать процентов мостовых сооружений на сети автомобильных дорог федерального значения в России находятся в неудовлетворительном состоянии [7].

При длительном внешнем силовом воздействии на железобетонные конструкции используется деформационная теория расчета. Нормативный документ по расчёту железобетонных конструкций СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» не учитывает влияние длительных переменных нагрузок и агрессивных сред, указанных в СП 28.13330.2012 «Свод правил. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85», на величину жёсткости железобетонных конструкций, являющейся интегральной оценкой деформационных свойств железобетонных конструкций.

Среди всех эксплуатационных переменных нагрузок ступенчатый вид переменных воздействий при высоких уровнях загрузки $\sigma_{\max} > 0,6 R_{\text{в.б}}$ представляет наибольшую опасность для деформации железобетонных конструкций из-за повышенной ползучести арматуры и бетона.

Для изучения влияния переменной и постоянной изгибающих нагрузок в жидкой хлоридсодержащей среде на деформационные свойства предварительно напряжённых железобетонных элементов проведены длительные экспериментальные исследования жёсткости и кинетики кривизны на прямых моделях железобетонных конструкций с размерами $1500 \times 200 \times 70$ мм с рабочей арматурой диаметром 12 мм класса А-III (А400). Класс бетона к началу длительных испытаний составил $B=40,4$ МПа, анормативное сопротивление рабочей арматуры соответствовало значению $R_{\text{sn}} = 475,2$ МПа. Опытные железобетонные образцы попарно загружались на отдельностоящих силовых установках равными по величине как переменной, так и постоянной изгибающими нагрузками. На каждой установке один образец испытывал воздействие агрессивной среды, а другой образец находился под воздействием неагрессивной среды, то есть являлся контрольным.

Длительные экспериментальные испытания проведены на сорока железобетонных балках, половина из которых испытывала воздействие агрессивной среды [8, 9]. К тридцати двум железобетонным образцам прикладывалась изгибающая переменная ступенчатая повторная нагрузка, в том числе к 16 железобетонным балкам соответственно в агрессивной и неагрессивной средах. Восемь железобетонных образцов загружались постоянной изгибающей нагрузкой, в том числе соответственно по 4 балки в агрессивной и неагрессивной средах.

Агрессивные условия создавались с помощью периодического шестиразового увлажнения в течение суток трёхпроцентным раствором NaCl поверхности бетона железобетонных образцов.

Жёсткость изгибаемых железобетонных балок рассчитывалась по кривизне, определяемой по измеренным прогибам в зоне чистого изгиба с точностью 5 мкм.

Математической основой методики испытания железобетонных конструкций на воздействие переменной ступенчатой повторной нагрузки является латинский квадрат. В сбалансированном многофакторном эксперименте три независимых параметра переменной ступенчатой повторной нагрузки в цикле загрузки: относительное

время действия максимальной нагрузки в периоде цикла $\eta = \frac{t_{M_{\max}}}{t_{\text{ц}}}$, уровень

загружения минимальной нагрузкой $\rho = \frac{M_{\min}}{M_{\max}}$ и продолжительность цикла переменной нагрузки ($t_{\text{ц}}$) – приняты соответственно на четырех уровнях: $\eta - 0,1; 0,2; 0,3; 0,4$; $\rho - 0,4; 0,533; 0,666; 0,8$; $t_{\text{ц}} - 3,5$ суток (84 часа); 14 суток (336 часа); 28 суток (672 часа); 56 суток (1344 часа).

Значения параметров переменной ступенчатой повторной нагрузки отражают широкий диапазон нагрузок, действующих в реальных условиях эксплуатации на несущие железобетонные конструкции зданий и сооружений с максимальной составляющей $M_{\max} = 0,77M_{\text{разр}}$, где $M_{\text{разр}}$ – величина разрушающего изгибающего момента.

Постоянная изгибающая нагрузка на восьми железобетонных образцах имела относительные уровни загрузки $M_{\text{пост}}/M_{\text{разр}}$ соответствующими значениями 0,9; 0,533; 0,426 и 0,320.

Моделью изменения кривизны железобетонных балок является функциональная экспоненциальная зависимость:

$$K(t) = K - K_1 \cdot e^{-kt},$$

где $K(t)$ – кривизна изгибаемого железобетонного элемента в момент времени t ; K – конечная кривизна; $K_1 = K - K_0$, где K_1 – приращение кривизны; K_0 – начальная кривизна; k – коэффициент.

Общий период экспериментальных исследований составил один год. Натурные испытания были завершены после появления волосистой коррозионной продольной трещины ($a_T = 10 \text{ мкм}$) в защитном слое бетона балки, испытывающей воздействие переменной нагрузки и агрессивной среды.

Жёсткость изгибаемых железобетонных образцов определяется как частное от величины изгибающего момента при верхнем уровне загрузки назначения конечной кривизны. Основной характеристикой изменения деформационных свойств опытных балок во времени принято отношение $n = B_0 / B$, где B_0 – начальная жёсткость; B – конечная жёсткость.

В табл. 1 приведены полученные функциональные зависимости относительной величины уменьшения жёсткости n в зависимости от параметров опытной переменной ступенчатой повторной нагрузки и вида среды.

Т а б л и ц а 1

Изменение жёсткости железобетонных образцов в зависимости от параметров переменной ступенчатой повторной нагрузки и вида среды

Среда: А – агрессивная, Н – неагрессивная	Функция $n = f(\eta \rho t_{\text{ц}})$	Относительная величина изменения жёсткости для значений параметров переменной нагрузки, наиболее снижающих жёсткость
А	$n = 0,636(1,1 + 0,5\eta)(0,9 + 0,6\rho)(1,0 + 0,4e^{-0,021t_{\text{ц}}})$	1,57
Н	$n = 0,526(1,3 + 0,5\eta)(1,0 + 0,6\rho)(1,3 + 0,2e^{-0,045t_{\text{ц}}})$	1,75

Полученные характеристики изменения деформационных свойств в зависимости от параметров переменной нагрузки имеют одинаковые зависимости для различных сред. В то же время жидкая хлоридсодержащая среда на 10,3 % меньше снижает жёсткость железобетонных образцов по сравнению с газообразной неагрессивной средой.

Относительное влияние относительного времени действия максимальной нагрузки в периоде цикла η , уровня загрузки минимальной нагрузкой ρ и продолжительности

цикла переменной нагрузки $t_{\text{ц}}$ на изменение жёсткости железобетонных балок в зависимости от вида воздействующей среды приведено в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Относительное влияние параметров опытной переменной нагрузки на изменение жёсткости железобетонных балок в зависимости от вида среды

Показатели	Условия испытания	проценты		
		η	ρ	$t_{\text{ц}}$
n_a	А	30	35	35
n_n	Н	30	40	30

В агрессивной среде наибольшее влияние на изменение жёсткости оказывает уровень нагружения минимальной нагрузкой и продолжительность цикла переменной нагрузки, а в неагрессивной среде – уровень нагружения минимальной нагрузкой.

Абсолютные и относительные значения конечной жёсткости опытных железобетонных образцов B при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки в условиях воздействия жидкой агрессивной и газообразной неагрессивной среды представлены в табл.3.

Т а б л и ц а 3

Абсолютные и относительные значения конечной жёсткости опытных железобетонных балок в условиях воздействия переменной и постоянной изгибающей нагрузки в агрессивной и неагрессивной среде

Среда: А – агрессивная, Н – неагрессивная. Нагрузка: пер – переменная, пост – постоянная	$B, \text{кг}\cdot\text{см}^2$					
	$B^{\text{max}} \cdot 10^8, \text{кг}\cdot\text{см}^2$	$B^{\text{max}}_{\text{агр}} / B^{\text{max}}_{\text{неагр}}$	$B^{\text{min}} \cdot 10^8, \text{кг}\cdot\text{см}^2$	$B^{\text{min}}_{\text{агр}} / B^{\text{min}}_{\text{неагр}}$ $\left(\frac{B^{\text{min}}_{\text{А-пер}}}{B^{\text{min}}_{\text{А-пост}}} \right)$ $\left(\frac{B^{\text{min}}_{\text{Н-пер}}}{B^{\text{min}}_{\text{Н-пост}}} \right)$	$B^{\text{сред}} \cdot 10^8, \text{кг}\cdot\text{см}^2$	$B^{\text{сред}}_{\text{агр}} / B^{\text{сред}}_{\text{неагр}}$
А-Пер	4,86	1,22	2,98	1,99	3,83	1,22
Н-Пер	4,01		1,50		3,14	
А-Пост	–	–	3,35	1,24	–	–
Н-Пост	–		2,71		–	
$\left(\frac{\text{А-Пер}}{\text{А-Пост}} \right)$	–	–	–	(0,89)	–	–
$\left(\frac{\text{Н-Пер}}{\text{Н-Пост}} \right)$	–		–	(0,55)	–	

Полученные абсолютные и относительные значения конечной жёсткости свидетельствуют, что переменная изгибающая нагрузка более интенсивно уменьшает жёсткость, чем постоянная, а воздействующая жидкая хлоридсодержащая среда, по сравнению с неагрессивной средой, способствует её росту. Увеличение жёсткости железобетонных образцов в агрессивной среде, по сравнению с неагрессивной средой, при переменном и постоянном воздействии изгибающей нагрузки связано с ростом на 12 % прочности бетона балок, подвергавшихся воздействию жидкой адсорбционно-активной среды в течение года.

Средние относительные значения 95 % и 100 % прироста кривизны и периодов времени затухания прироста кривизны при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки в условиях воздействия агрессивной и неагрессивной сред показаны в табл. 4.

Средние относительные значения прироста кривизны и периодов времени затухания прироста кривизны при действии переменной и постоянной изгибающей нагрузки в условиях воздействия агрессивной и неагрессивной среды

Среда: А – агрессивная, Н – неагрессивная	Переменная нагрузка $M_{\text{перем}}$ Постоянная нагрузка $M_{\text{пост}}$	Отношение величин прироста кривизны ΔK при переменном и постоянном действии изгибающей нагрузки		Отношение периодов времени затухания прироста кривизны T при переменном и постоянном действии изгибающей нагрузки	
		95 %	100 %	95 %	100 %
		$\frac{\Delta K_{M_{\text{пер}}}}{\Delta K_{M_{\text{пост}}}}$	$\frac{\Delta K_{M_{\text{пер}}}}{\Delta K_{M_{\text{пост}}}}$	$\frac{T_{\Delta K_{\text{пер}}}}{T_{\Delta K_{\text{пост}}}}$	$\frac{T_{\Delta K_{\text{пер}}}}{T_{\Delta K_{\text{пост}}}}$
А	$M_{\text{перем}}$	0,70	0,71	3,54	3,35
А	$M_{\text{пост}}$				
Н	$M_{\text{перем}}$	1,10	1,10	2,58	4,61
Н	$M_{\text{пост}}$				

Результаты экспериментальных исследований показывают, что:

- постоянная изгибающая нагрузка с $M_{\text{опытн}}/M_{\text{разр}} = 0,9$ приводит к уменьшению относительной жёсткости образцов $n=B_0/B$ в агрессивных и неагрессивных условиях соответственно в 1,28 и в 1,37 раза;
- снижение относительной средней жёсткости при действии переменной изгибающей нагрузки по сравнению с воздействием постоянной изгибающей нагрузки в агрессивной среде составляет 18,5 %, а в неагрессивной среде – 21,7 %;
- относительная минимальная жёсткость при переменной изгибающей нагрузке по отношению к постоянной в неагрессивных условиях в 1,62 раза меньше, чем в условиях воздействия жидкой хлоридсодержащей среды;
- прирост кривизны в агрессивной жидкой хлоридсодержащей среде при действии переменной изгибающей нагрузки относительно прироста кривизны, вызываемого постоянной изгибающей нагрузкой, в 1,55 раза меньше, чем в неагрессивной среде;
- более интенсивное приращение кривизны железобетонных конструкций происходит на начальном этапе воздействия переменной изгибающей нагрузки в присутствии жидкой хлоридсодержащей среды, в отличие от неагрессивных газовойздушной среды.

Данные экспериментальных исследований и полученные по ним выводы предназначены для строительных норм и правил по расчёту железобетонных конструкций в разделе, содержащем методику расчёта жёсткости непредварительно напряжённых железобетонных элементов, испытывающих воздействие переменной изгибающей нагрузки и жидкой хлоридсодержащей среды.

Список литературы

1. Lentz, A. Half-cell potential measurements for condition assessment / A. Lentz, T. H. Johnsen, M.H. Faber // Proceedings of First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management. – Barcelona, July 2002. – P. 365–366.
2. Zivica, V. Corrosion of reinforcement induced by environment containing chloride and carbon dioxide / V. Zivica // Bulletin of Materials Science. – 2003. – Vol.26. – №6. – P. 605–608.

3. Bertolini, L. Corrosion of Steel in Concrete. Prevention, Diagnosis, Repair/ L. Bertolini, B. Elsener. – Viernheim: Wiley, 2004. – 394 p.
4. Зайцев, Ю.В. Прочность и долговечность конструкционных материалов с трещиной: монография / Ю.В. Зайцев, С.Н. Леонович. – Минск: БНТУ, 2010. – 360 с.
5. Маринин, А.Н. Сопротивление железобетонных конструкций воздействию хлоридной коррозии и карбонизации/ А.Н. Маринин, Р.Б. Гарибов, И.Г. Овчинников. – Саратов: ИЦ «Рата», 2008. – 259 с.
6. Сопротивление усталости полимерных композиционных материалов в элементах конструкций транспортных сооружений / А.Б.Бондарев [и др.] // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 3 (31). – С. 243–247.
7. Мигунов, В.Н. Длительные экспериментальные исследования моделей железобетонных конструкций с трещинами в агрессивной хлоридсодержащей среде: моногр. / В.Н. Мигунов. – Пенза: ПГУАС, 2016. – С. 404.
8. Мигунов, В.Н. Экспериментально-теоретическое моделирование конструкций в условиях коррозии: моногр. / В.Н. Мигунов, И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 352 с.
9. Гарькина, И.А. Планирование эксперимента. Обработка опытных данных / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, А.П. Прошин; под ред. д-ра техн. наук, проф. А.М. Данилова. – Пенза: ПГУАС, 2005. – 284 с.

References

1. Lentz, A. Half-cell potential measurements for condition assessment / A. Lentz, T. H. Johnsen, M.H. Faber // Proceedings of First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management. – Barcelona, July 2002. – P. 365–366.
2. Zivica, V. Corrosion of reinforcement induced by environment containing chloride and carbon dioxide / V. Zivica // Bulletin of Materials Science. – 2003. – Vol.26. – No. 6. – P. 605–608.
3. Bertolini, L. Corrosion of Steel in Concrete. Prevention, Diagnosis, Repair/ L. Bertolini, B. Elsener. – Viernheim: Wiley, 2004. – 394 p.
4. Zaitsev, Yu.V. the Strength and durability of structural materials with crack: monograph / Yu.V. Zaitsev, S.N. Leonovich. – Minsk: BNTU, 2010. – 360 p.
5. Marinin, A.N. Resistance of reinforced concrete structures impact-the action of chloride corrosion and carbonization / A.N. Marinin, R.B. Garibov, I.G. Ovchinnikov. – Saratov: IC «Rata», 2008. – 259 p.
6. Fatigue composition polymeric materials in the elements of structures of transport constructions/ A.B. Bondarev [etc.] // Scientific Herald of the Voronezh state University of architecture and construction. Construction and architecture. – 2013. – № 3 (31). – P. 243–247.
7. Migunov, V.N. Long-term experimental study of models of reinforced concrete structures with cracks in aggressive Florida-holding environment: monogr./ V.N. Migunov. – Penza: PGAS, 2016 – P. 404.
8. Migunov, V.N. Experimental and theoretical modeling of structures in terms of corrosion: monogr./ V.N. Migunov, I.I. Ovchinnikov, I.G. Ovchinnikov. – Penza: PGUAS, 2014. – 352 p.
9. Garkina, I.A. Experiment planning. Treatment of experimental data / I.A. Garkina, A.M. Danilov, A.P. Proshin; ed. d-r of Sciences, prof. A. M. Danilov. – Penza: PGAUS, 2005. – 284 p.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Болдырев Сергей Александрович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»,
проректор по учебной работе
E-mail: boldyrev-s@ya.ru

Гарькин Игорь Николаевич,
кандидат исторических наук, директор
Центра практики студентов и содействия
трудоустройству выпускников
E-mail: igor_garkin@mail.ru

Медведева Линара Марсовна,
специалист по учебно-методической
работе 1-й категории
E-mail: linara-medvedeva@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Boldyrev Sergey Alexandrovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Building constructions»,
Vice-Rector for academic work
E-mail: boldyrev-s@ya.ru

Garkin Igor Nikolaevich,
Candidate of Historical Sciences, Director of
the Center of practice of and promotion of
students employment of graduates
E-mail: igor_garkin@mail.ru

Medvedeva Linara Marsovna,
Specialist on educational and methodical
work
E-mail: linara-medvedeva@mail.ru

АДАПТАЦИЯ СТУДЕНТОВ В СТРОИТЕЛЬНОМ ВУЗЕ: СОЦИОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

С.А. Болдырев, И.Н. Гарькин, Л.М. Медведева

Определены основные показатели и факторы оценки социальной адаптации студентов строительного вуза (на примере Пензенского государственного университета архитектуры и строительства). Представлены данные социологического опроса, проводившегося среди студентов первого курса.

Ключевые слова: строительство, вуз, практика, трудоустройство, социальная адаптация студентов

ADAPTATION OF STUDENTS IN BUILDING HIGHER EDUCATIONAL ESTABLICHMENT: SOCIOLOGICAL ASPECTS

S.A. Boldyrev, I.N. Garkin, L.M. Medvedeva

The main indicators and factors assessing the social adaptation of students of the building university (on the example of Penza State University of Architecture and Construction) are given. Data of sociological survey of first-year students are used.

Keywords: building, university, practice, employment, social integration of students

Под социальной адаптацией понимается процесс и результат приспособления индивида к меняющимся условиям. Успешная адаптация является гарантом эффективной деятельности. Адаптация студентов во многом влияет на профессиональное становление и профессиональную деятельность выпускников. Активное приобретение профессиональных знаний, умений, навыков и компетенций в значительной степени осуществляется в студенческой среде. Успешность обучения определяется различными факторами, в число которых входят индивидуально-личностные и интеллектуальные качества студента, правильность профориентационного выбора, особенности социально-психологической, социально-педагогической среды вуза [1]. Показателями адаптации являются результаты формирования познавательной самостоятельности, ценностных ориентаций и коммуникативных навыков. Исходя из этого, Центром практики студентов и содействия трудоустройству выпускников Пензенского государственного университета архитектуры и строительства [2] было проведено обширное социологи-

ческое исследование уровня адаптации студентов (в выборке 100 студентов очной формы обучения 1-го курса при генеральной совокупности в 600 человек; гендерный состав – 50 на 50 %; репрезентативность выборки обеспечена).

Как уже отмечалось, важным фактором, влияющим на уровень адаптации студентов, является правильный выбор вуза [3]. При опросе респонденты могли выбрать *несколько* вариантов ответов. Наиболее популярными причинами выбора ПГУАС оказались варианты: наличие специальности, которая интересует – 54 %; качественное образование – 49 %; советы знакомых, родных – 31 %; менее популярными: расположенность близко с домом и престиж – по 21 %; сюда поступают или уже учатся мои друзья – 14 %; редкими были ответы: легче поступить сюда, чем в другой вуз – 6 %, умеренная плата за обучение – 5 %. Как видим, основной массой опрошенных студентов был сделан *осознанный выбор, основанный на показателях качества образования и востребованности профессии* (рис.1).

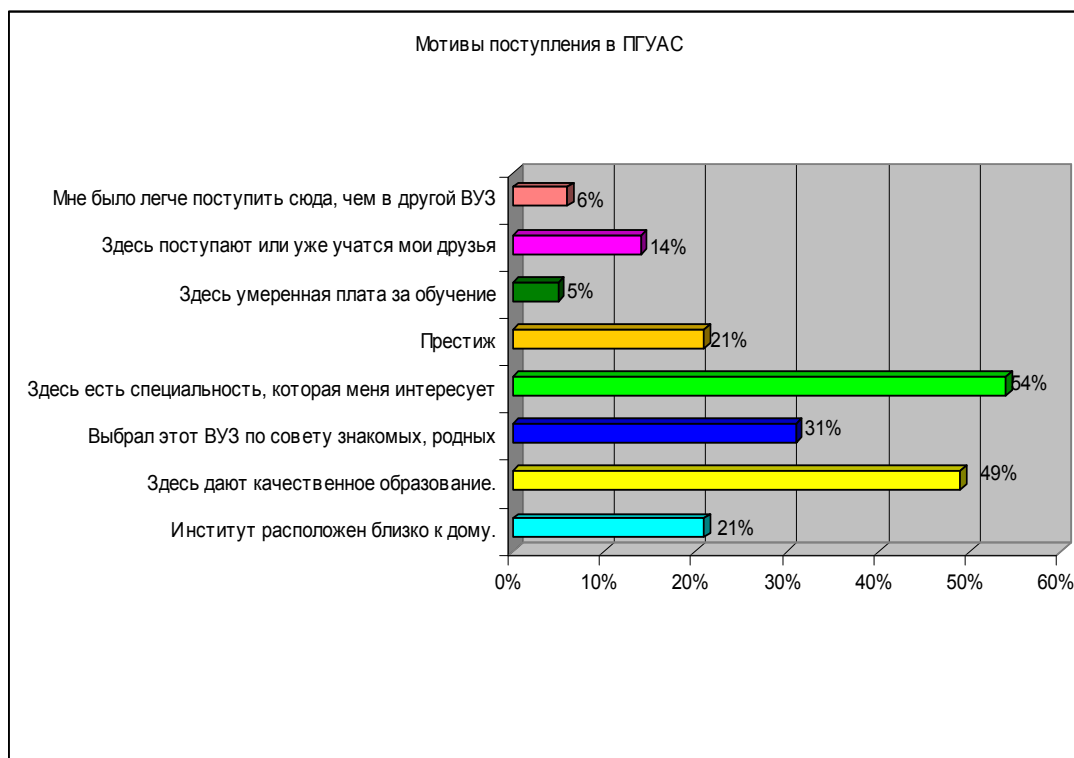


Рис. 1. Мотивы поступления в ПГУАС

На выбор специальности повлияли следующие показатели: интерес к будущей профессии (44 %); получение высокооплачиваемой работы (40 %); престижность (39 %); интерес к данной области науки (16 %). Примечательно, что лишь 5 % студентов исходили из возможности легкой сдачи вступительных экзаменов. Выбор вуза под влиянием родителей сделали 9 %, по совету друзей – 3 %. Таким образом, *большинство студентов сделали профессиональный выбор самостоятельно и обдуманно* (рис.2).

Как и следовало ожидать, *результаты анкетирования показали, что большинству студентов нравится учиться в ПГУАС – 82 %; скорее да, чем нет – 12 %; не знают – 3 %; скорее нет, чем да – 3 %* (рис. 3).

Примечательно, что после окончания вуза более половины опрошенных (56 %) планируют *работать по специальности*, 21 % планируют продолжить обучение, 17 % желают создать собственное предприятие. Правда, 4 % опрошенных планируют не работать по специальности, а 2 % не имеют планов (рис. 4).

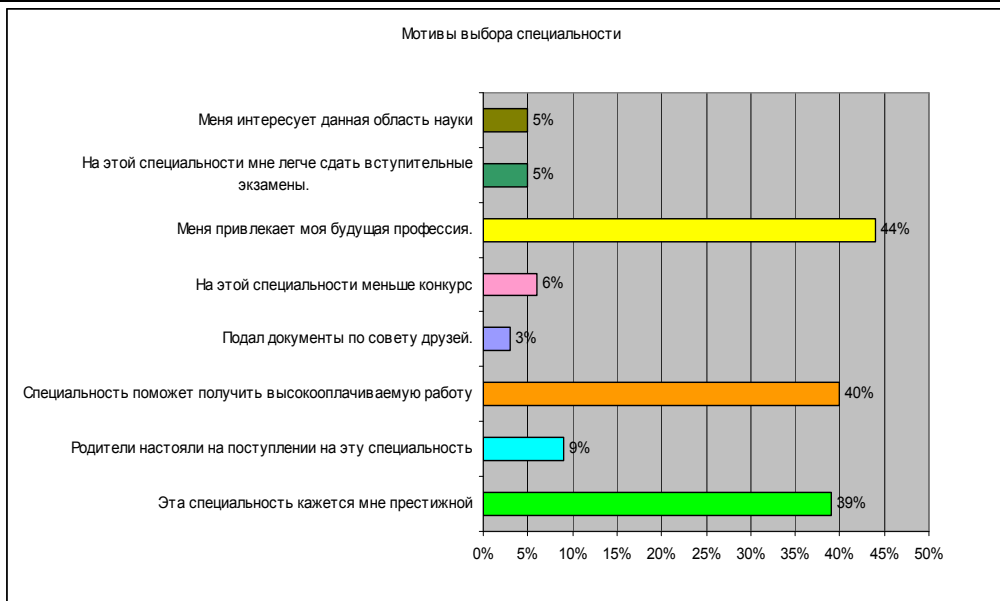


Рис. 2. Мотивы выбора специальности



Рис.3. Распределение ответов на вопрос: «Нравится ли студентам учиться в ПГУАС?»



Рис. 4. Планы студентов после окончания вуза

Определённую удовлетворённость доставляет тот факт, что 40 % студентов хотели бы в вузе научиться правильной организации времени, быть более уверенными в себе (36 %), научиться эффективному общению (28 %).

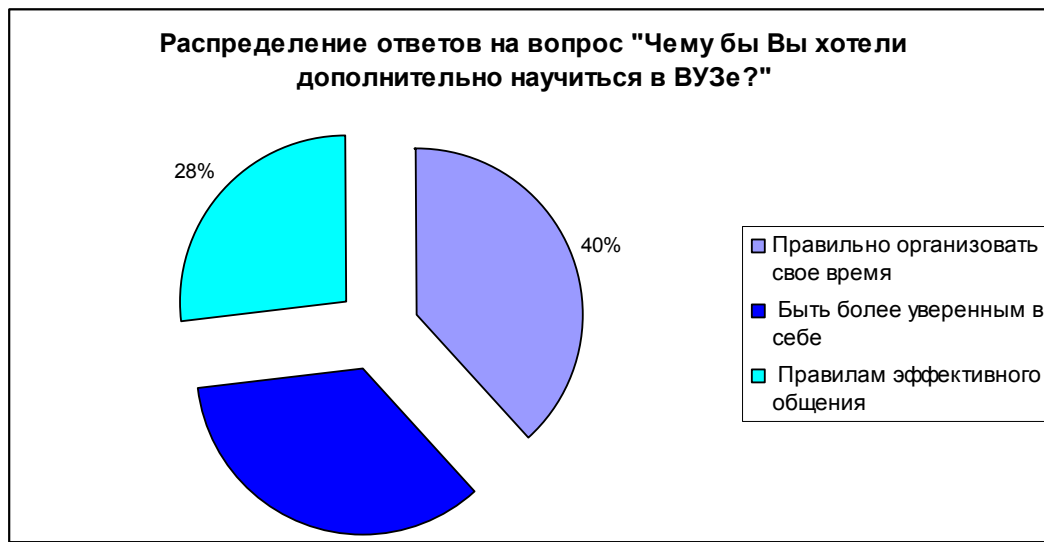


Рис. 5. Распределение ответов на вопрос: «Чему бы Вы хотели дополнительно научиться в вузе?»

На вопрос о том, представляют ли опрошенные студенты себе специфику выбранной профессии, 80 % ответили положительно, 2 % отрицательно. К сожалению, 18 % не до конца разобрались в сути выбранной профессии (рис. 6).

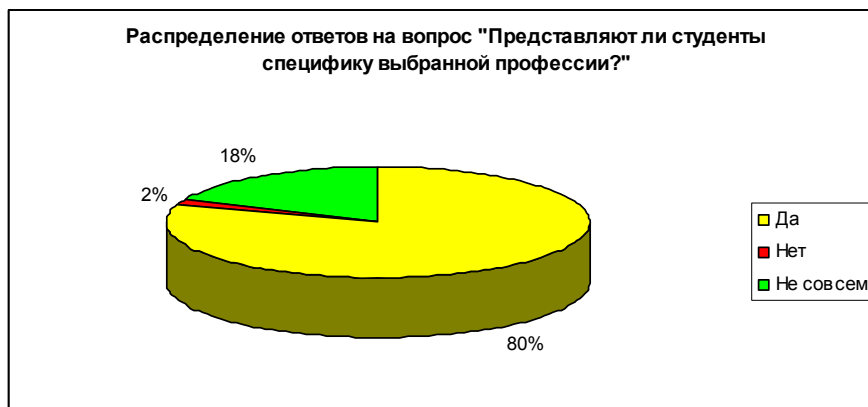


Рис. 6. Распределение ответов на вопрос: «Представляют ли студенты специфику выбранной профессии?»

Что касается организации учебного процесса в вузе, исследование показало, что основная масса (61 %) студентов легко справляется с учебной нагрузкой (что подтверждается статистической отчётностью показателей качества успеваемости студентов; рис. 7).

Исследования показали, что основными факторами, влияющими на адаптацию студентов к обучению, являются: желание учиться – 52 %, сотрудничество в группе – 33 %, поддержка сотрудников факультета и преподавателей – 31 %, культурно-досуговая деятельность – 25 % (рис. 8).

При исследованиях оценивалась личная активность студентов в различных сферах студенческой жизни. Наивысшая активность проявляется в работе студенческих организаций – 35 % [5]; участвуют в спортивных секциях – 19 %, в художественной деятельности – 11 %; в КВН – 12 %; в стройотряде – 8 %; в научно-исследовательской деятельности – 5 %.

Более 20 % студентов вообще не принимают участия в общественной жизни (рис. 9).

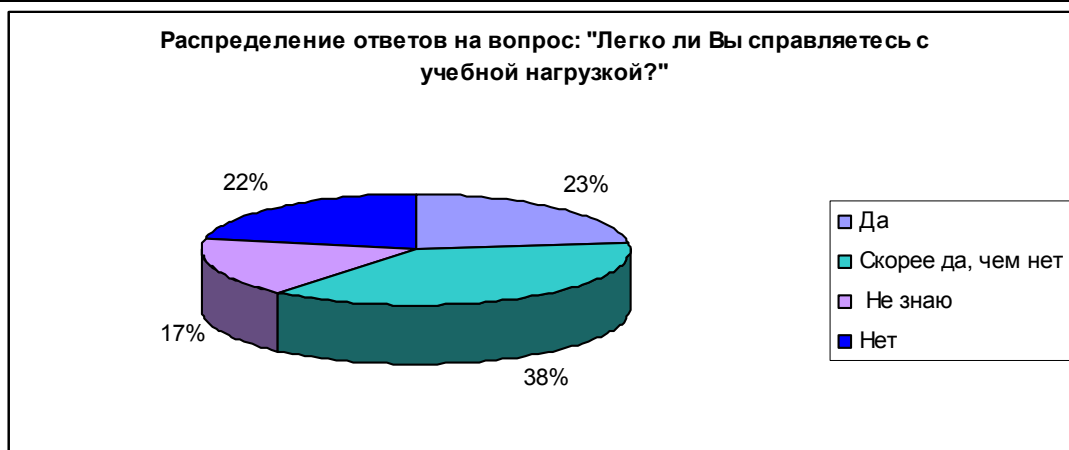


Рис. 7. Распределение ответов на вопрос: «Легко ли Вы справляетесь с учебной нагрузкой?»

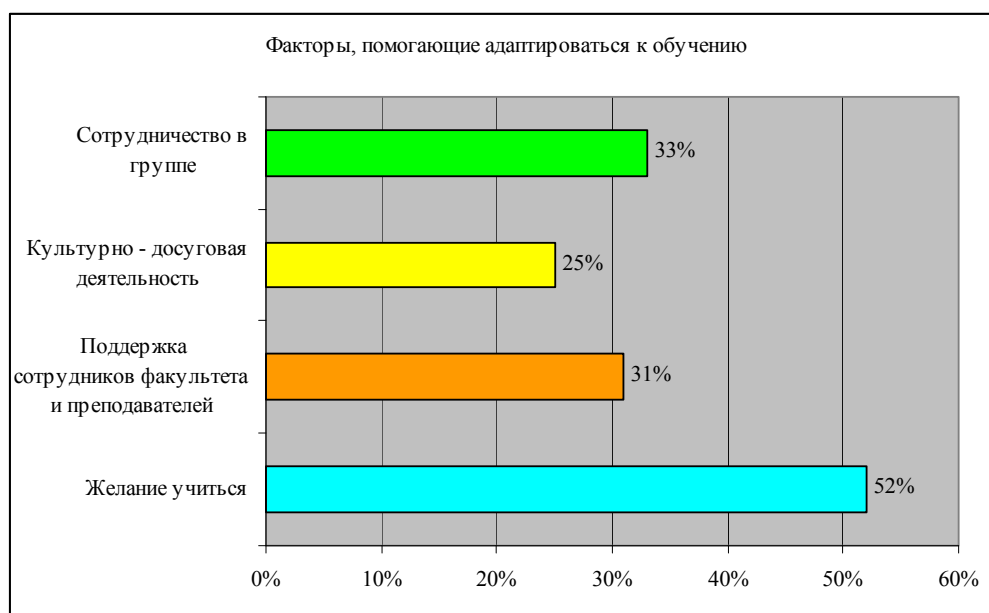


Рис. 8. Факторы, помогающие адаптироваться к обучению

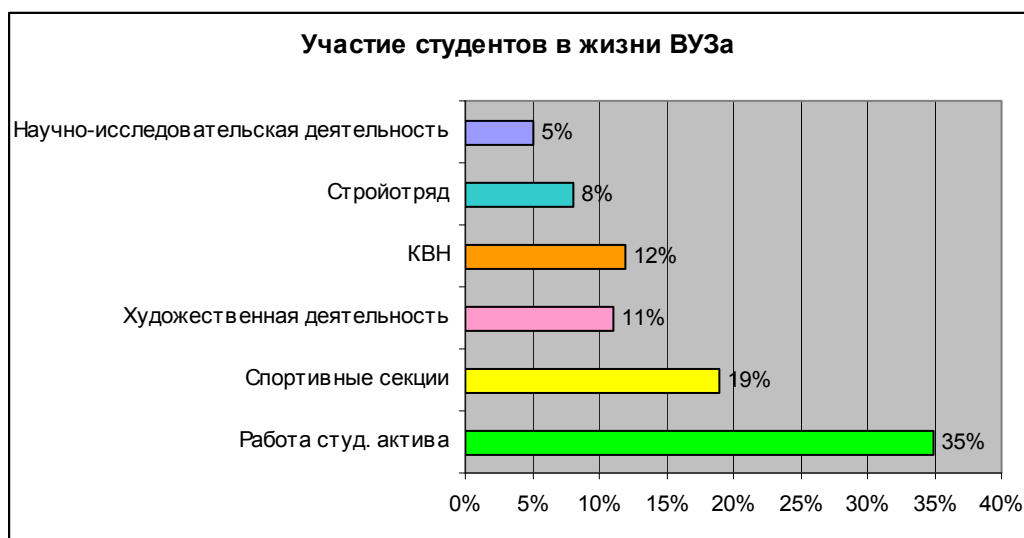


Рис. 9. Участие студентов во внеучебных мероприятиях вуза

Данные социологического опроса позволяют сделать следующие выводы:

1. Отмечается высокий уровень социальной адаптации у студентов ПГУАС.
2. Основными мотивами выбора ВУЗа и профессии являются востребованность на рынке труда и качественное образование.
3. Большинство студентов успешно справляются с учебной нагрузкой, активно участвуют в жизни университета.
4. Основная часть студентов после окончания обучения планирует работать по специальности, продолжить обучение или организовать собственное предприятие.

Список литературы

1. Данилов, А.М. Подготовка бакалавров: компетентностный подход, междисциплинарность / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, И.Н. Гарькин // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2. – С.192–199.
2. Болдырев, С.А. Формы работы центра практики студентов и содействия трудоустройству выпускников / С.А. Болдырев, И.Н. Гарькин, Л.М. Медведева // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №3. – С.187–191.
3. Гарькин, И.Н. Профессиональная адаптация студентов в процессе производственной практики / И.Н. Гарькин, Л.М. Медведева, О.В. Назарова // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2016. – №3.
4. Данилов, А.М. ВУЗ как система / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, А.А. Киселев // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №3. – С.138–143.
5. Гарькин, И.Н. Профсоюзная организация студентов как инструмент личностного роста молодежи / И.Н. Гарькин, И.А. Гарькина // Молодой учёный. – 2014. – №14. – С.287–289.

References

1. Danilov, A.M. Bachelor competence: approach, interdisciplinary / A.M. Danilov, I.A. Garkina, I.N. Garkin // Regional architecture and engineering. – 2014. – №2. – P.192–199.
2. Boldirev, S.A. Forms of work center to facilitate the practice of students and graduates employment / S.A. Boldirev, I.N. Garkin, L.M. Medvedeva // Regional architecture and engineering. – 2016. – №3. – P.187–191.
3. Garkin, I.N. Professional adaptation of students in the process of industrial practice / I.N. Garkin, L.M. Medvedev, O.V. Nazarova // Vestnik PGUAS: construction, science and education. – 2016 – №3.
4. Danilov, A.M. University as a system / A.M. Danilov, I.A. Garkina, A.A. Kiselev // Regional architecture and engineering. – 2015. – №3. – P.138–143.
5. Garkin, I.N. The trade-union organization of students as a tool for personal growth of young people / I.N. Garkin, I.A. Garkina // Young scientist. – 2014. – №14. – P.287–289.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Снежкина Ольга Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Начертательная геометрия
и графика»
E-mail: o.v.snejkina@yandex.ru

Киселев Артем Анатольевич,
аспирант
E-mail: kiselev-volley@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Snezhkina Olga Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Descriptive geometry
and graphics»
E-mail: o.v.snejkina@yandex.ru

Kiselev Artem Anatolievich,
Postgraduate student
E-mail: kiselev-volley@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН В КОРОТКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ

О.В. Снежкина, А.А. Киселев

Предложена методика расчета ширины раскрытия трещин в коротких железобетонных балках при изменении пролета среза от 0,25 до 1,5 на основе экспериментальных данных.

Ключевые слова: железобетонные балки, короткие элементы, методика расчета, схемы трещинообразования, ширина трещины

DETERMINING THE WIDTH OF CRACKS IN SHORT REINFORCED CONCRETE BEAM

O.V. Snezhkina, A.A. Kiselev

The method of calculating the width of cracks in reinforced concrete beams with flight cut change from 0.25 to 1.5, based on experimental data is given.

Keywords: reinforced concrete beams, short elements, calculation method, cracking the circuit, the width of the crack

При проектировании строительных конструкций значительной проблемой является отсутствие в нормативной литературе метода расчета коротких железобетонных элементов по второй группе предельных состояний. Ниже предлагается метод расчета ширины раскрытия трещин в коротких железобетонных балках на основе данных экспериментов, проведенных авторами и в институте строительства Голландии CUR.

В рамках комплексной программы по исследованию работы коротких железобетонных элементов выполнены натурные испытания и определены:

- особенности напряженно-деформированного состояния коротких балок (НДС);
- типы трещин, по которым целесообразно производить расчет ширины их раскрытия при длительном действии нагрузки;
- значение базового расстояния между трещинами;
- коэффициент, учитывающий совместную работу бетона и арматуры.

Концепция предлагаемого метода расчета коротких балок по второй группе предельных состояний заключается в распространении требований Свода правил (СП) по проектированию и строительству на указанный вид конструкций с учетом НДС коротких элементов.

Согласно напряженно-деформированному состоянию коротких балок расчет ширины раскрытия трещин предлагается производить по наклонной граничной трещине и

по нормальной трещине в бетоне растянутой зоны (рис. 1). Закономерность образования этих трещин описана ранее [1, 2, 3].

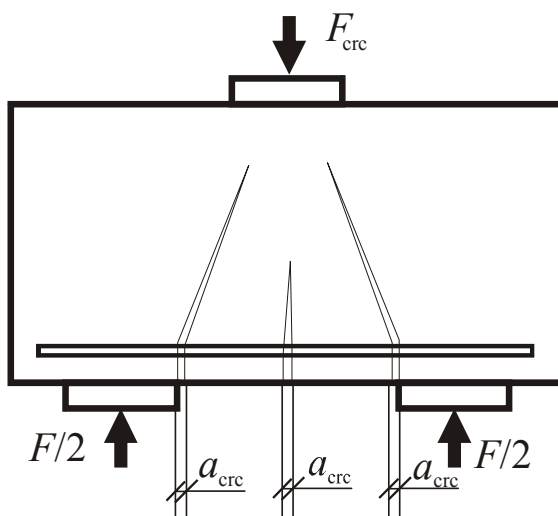


Рис. 1. Схема расположения трещин, рассчитываемых на ширину раскрытия

За основу метода расчета ширины раскрытия трещин (в коротких железобетонных балках) принята теория В.И. Мурашева, суть которой заключается в равенстве деформаций в бетоне и арматуре на участках между трещинами (рис.2). Ширина раскрытия трещины (по оси арматуры) определяется из условия, что суммы удлинений бетона (растянутой зоны сечения) и ширины трещины должны равняться удлинению арматуры на участке, в пределах которого восстанавливаются совместные деформации в бетоне и арматуре:

$$a_{\text{crc}} + \varepsilon_{b,u} \cdot l_t = \varepsilon_s \cdot l_t. \quad (1)$$

Рекомендуется ширину раскрытия трещин в балках с $a/h_0 \leq 1,5$ определять по зависимости

$$a_{\text{crc}} = \psi \sigma_s l_t / E_s, \quad (2)$$

где ψ – коэффициент, учитывающий совместную работу бетона и арматуры, равный 0,8; σ_s – напряжения в продольной арматуре,

$$\sigma_s = T_s / A_s; \quad (3)$$

T_s – продольное растягивающее усилие согласно каркасно-стержневой модели (КСМ) определяется как

$$T_s = 0,5 F / \operatorname{tg} \alpha,$$

F – внешняя нагрузка; l_t – длина участка, в пределах которого восстанавливаются совместные деформации в бетоне и арматуре,

$$l_t = d / 0,5 \mu_s; \quad (4)$$

здесь μ_s – процент продольного армирования,

$$\mu_s = 100 \% A_s / A_b;$$

d – диаметр продольной арматуры; E_s – модуль упругости арматуры.

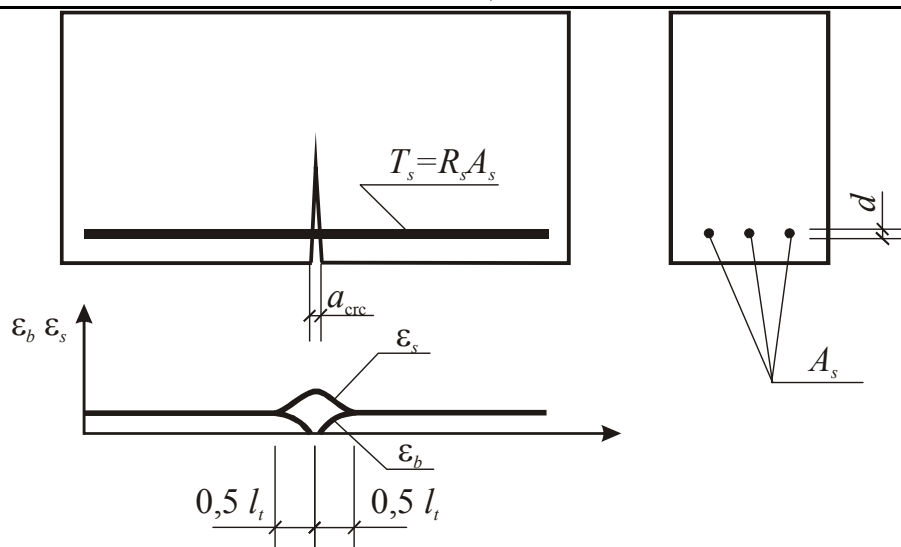
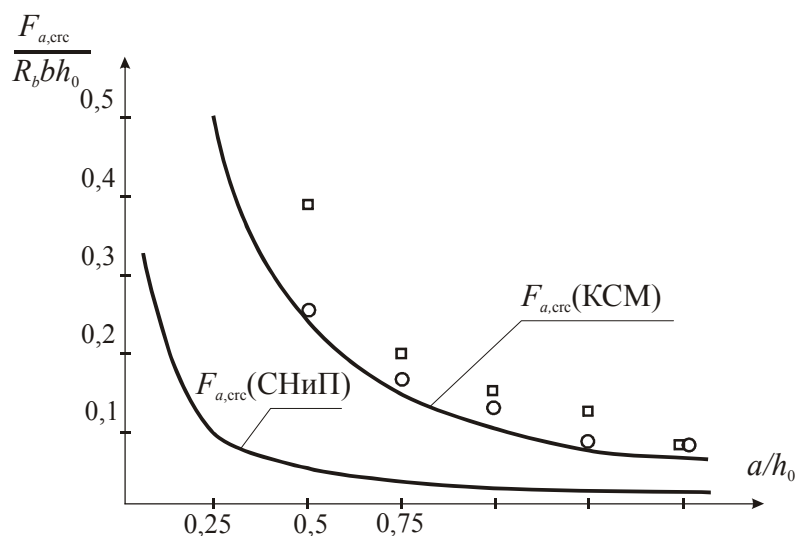


Рис. 2. Схема совместных деформаций в бетоне и арматуре в зоне трещины

При разработке расчетных зависимостей учитывалась особенность напряженно-деформированного состояния коротких балок, связанная с отсутствием периодичности повторения трещин. В отличие от обычных ($a/h_0 \geq 3$), в коротких балках с пролетом среза a/h_0 до 1,5, как правило, возникают одна магистральная трещина с вертикальной траекторией, расположенной в середине пролета балки, и наклонные граничные трещины, симметрично расположенные у граней опорных площадок (см. рис.1). Известно [1, 2, 3], что траектория граничных трещин является ломаной: нижняя часть вертикальна (наклонные трещины, начинающиеся у нижней растянутой грани балки, относятся к трещинам, раскрытие которых определяется расчетным путем). При определении длины участка между трещинами l_t (в пределах которого восстанавливаются совместные деформации в бетоне и арматуре) используется расчетная зависимость из норм ЕКБ. Учитывая, что метод расчета прочности и трещиностойкости коротких железобетонных балок базируется на КСМ, предлагаем определять напряжения σ_s в арматуре по растягивающему продольному усилию T_s (согласно КСМ).

Интерпретация расчетной зависимости $F_{a,crc}$ приводится на рис. 3 ($a_{crc}=0,3$ мм принято из условия обеспечения сохранности арматуры при продолжительном раскрытии трещин). Расчетные показатели практически совпадают с нижней границей экспериментальных данных ($F_{a,crc,test} / F_{a,crc,calc} = 1,2$).


 Рис.3. Расчетная зависимость для определения усилий образования трещин $F_{a,crc}$ ($a_{crc}=0,3$ мм)

Выводы

1. Определены основные факторы, влияющие на расстояние между трещинами: диаметр, процент продольного армирования; величина пролета среза.
2. Обоснована аналитическая зависимость для определения длины участка, в пределах которого восстанавливаются совместные деформации в бетоне и арматуре.
3. Экспериментально установлен коэффициент, учитывающий совместную работу бетона и арматуры, $\psi=0,8$.
4. Экспериментально подтверждена расчетная зависимость для определения усилий образования трещины при ширине раскрытия $a_{\text{ср}} = 0,3$ мм в бетоне коротких железобетонных балок.
5. Предложенный метод расчета ширины раскрытия трещин в бетоне коротких железобетонных балок совершенствует процесс проектирования строительных конструкций и обеспечивает экономию материалов.

Список литературы

1. Определение схем разрушения и трещинообразования коротких железобетонных балок по экспериментальным данным / Ю.П. Скачков, О.В. Снежкина, М.В. Кочеткова, А.В. Корнюхин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 74–81.
2. Снежкина, О.В. Оценка каркасно-стержневых моделей для определения трещиностойкости балок / О.В. Снежкина, Ю.П. Скачков, Р.А. Ладин // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 1. – С. 101–104.
3. Моделирование работы коротких железобетонных балок / Т.И. Баранова, Ю.П. Скачков, О.В. Снежкина, Р.А. Ладин // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2014. – № 2 (36). – С. 54–60.
4. Скачков, Ю.П. Модификация метода ПАТТЕРН к решению архитектурно-строительных задач / Ю.П. Скачков, А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – №1(10). – С.4–9.
5. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – No. 5. – P. 219–225. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517>
6. Danilov, A. Coherence function in analysis and synthesis of complex systems / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – No. 9. – P. 375–380. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5236>
7. Shein, A.I. Numerical study of short reinforced concrete beams / A.I. Shein, O.V. Snezhkina, R.A. Ladin // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – No. 9. – P. 361–365. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5246>
8. Корнюхин, А.В. Экспериментально-теоретические исследования толстых плит: монография / А.В. Корнюхин, М.В. Кочеткова, О.В. Снежкина. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 132 с.

References

1. Definition of schemes and destruction cracking short concrete beams experimental data / Y.P. Skachkov, O.V. Snezhkina, M.V. Kochetkova, A.V. Korniyuhin // Regional architecture and construction. – 2013. – № 3. – P. 74–81.
2. Snezhkina, O.V. Estimation of frame-and-rod models for the determination of fracture toughness of beams / O.V. Snezhkin, Y.P. Skachkov, R.A. Ladin // Regional architecture and construction. – 2015. – No. 1. – P. 101–104.
3. Modeling work of short reinforced concrete beams / T.I. Baranova, Y.P. Skachkov, O.V. Snezhkina, R.A. Ladin // journal of Siberian Russian state automobile and road Academy. – 2014. – No. 2 (36). – P. 54–60.

4. Skachkov, Y.P. Modification of the method of PATTERN to the solution of the architecture-and-construction issues / Y.P. Skachkov, A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional architecture and construction. – 2011. – №1(10). – P.4–9.
5. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – No. 5. – P. 219–225. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517>
6. Danilov, A. Coherence function in analysis and synthesis of complex systems / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – No. 9. – P. 375–380. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5236>
7. Shein, A.I. Numerical study of short reinforced concrete beams / A.I. Shein, O.V. Snezhkina, R.A. Ladin // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – No. 9. – P. 361–365. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5246>
8. Korniyuhin, A.V. Experimental and theoretical investigation of thick plates: monography / A.V. Korniyuhin, M.V. Kochetkova, O.V. Snezhkina. – Penza: PGUAS, 2013. – 132 p.

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

Кузин Николай Яковлевич,
кандидат технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Экспертиза
и управление недвижимостью»
E-mail: eiun90@pguas.ru

Ежова Нина Александровна,
магистрант
E-mail: stenina.nina2016@yandex.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Kuzin Nikolay Yakovlevich,
Candidate of Sciences, Professor,
Head of Department «Expertise and real
estate management»
E-mail: eiun90@pguas.ru

Ezhova Nina Aleksandrovna,
Graduate student
E-mail: stenina.nina2016@yandex.ru

САМОРЕГУЛИРУЕМЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Н.Я. Кузин, Н.А. Ежова

Представлены результаты анализа основных нормативно-правовых аспектов создания и функционирования саморегулируемых организаций в строительстве, определена их роль и функции в отрасли, отражены основные проблемные вопросы деятельности саморегулируемых организаций в настоящее время. Даны предложения по поддержке и совершенствованию института саморегулирования в строительстве.

Ключевые слова: строительство, саморегулируемая организация, повышение качества строительства

SELF-REGULATED ORGANIZATION IN CONSTRUCTION (STATE AND PROSPECTS)

N.Y. Kuzin, N.A. Ezhova

The analysis of main regulatory aspects of organization and operation of self-regulated organizations in building? their roles and functions in the industry are presented. The main issues of self-regulatory organizations activities at present time are shown. Some proposals on supporting and improving self-regulation institute in construction is given.

Keywords: construction, self-regulated organization, improving the quality of construction

Одной из ключевых проблем российской экономики является создание благоприятных условий для развития производства, особенно малых и средних предприятий, для чего необходимо улучшение инвестиционного климата[1], в том числе и в строительном комплексе. В настоящее время в строительной отрасли наблюдается снижение производства по сравнению с прошлым годом. Так, ежегодный индекс ввода зданий в 2014 году был равен 1,18, а в 2015 году составил только 1,006.

Ввод новых мощностей, зданий – это не только воспроизводство недвижимого имущества, которое вовлекается в товарооборот и обеспечивает рост налогооблагаемой базы, но и дополнительные рабочие места, и развитие сопряженных отраслей экономики. Строительной отрасли при экономическом спаде уделяется большое внимание, так как один строительный рабочий дает работу 7 рабочим смежных профессий, в том числе и за счет роста объемов подрядных работ.

В то же время следует отметить, что в России с каждым годом растет количество строительных организаций. Если в 2010 году в РФ насчитывалось 196 234 действующих строительных организаций, то уже к 2014 году их количество достигло 226 838 единиц. Из

них, по данным Росстата, более 98 % находятся в частной собственности, и большая часть имеет в составе менее 100 чел.

По мере развития рыночных отношений в инвестиционной строительной деятельности естественным образом происходит уменьшение регулирующей функции государства в том, что относится к сфере ответственности самих предприятий и организаций [1].

С 1 января 2010 года строительная деятельность регулируется исключительно Градостроительным кодексом РФ [2] и принятыми в соответствии с ним документами СРО (саморегулируемые организации в области строительства). По данным портала «Реестр СРО», на октябрь 2015 года в России насчитывалось 454 саморегулируемых организации, из них: СРО в строительстве – 249 организаций; в проектировании – 171 организация; в инженерных изысканиях – 34 организации.

Передача полномочий государства по выдаче строительных допусков саморегулируемым организациям привела к возникновению новой формы экономической деятельности – деятельности саморегулируемых организаций.

Такой переход был обусловлен необходимостью регламентации общественного контроля за деятельностью строительных организаций и качеством строительства. На СРО возлагаются функции общественного контроля, выявления и устранения недобросовестных участников строительного рынка, из-за которых страдает имидж всех строителей.

Требования к организации и документированию сведений «системы контроля качества» в целом действующими федеральными документами не установлены. Однако саморегулируемая организация может регламентировать этот вопрос своими стандартами. Таким образом, основным критерием оценки организации члена СРО должна быть ее деятельность по обеспечению и контролю качества работ [3].

В статье 55.5 [2] предусмотрено, что СРО должна разработать и утвердить следующие нормативные документы:

- требование к выдаче свидетельства о допусках к работам, оказывающим непосредственное влияние на безопасность объектов;
- документы, устанавливающие правила контроля за соблюдением членами СРО требований к выдаче свидетельств о допуске, требований стандартов и правил саморегулирования;
- документ, устанавливающий меры дисциплинарного воздействия за несоблюдение требований к выдаче свидетельств о допуске, правил контроля в саморегулировании, требований технических регламентов, стандартов саморегулируемых организаций и правил саморегулирования.

Градостроительный кодекс предоставляет СРО право утверждения внутренних стандартов и правил саморегулирования.

Внутренние стандарты СРО не должны противоречить действующим федеральному и региональному законодательствам. Они должны основываться на существующих СП, государственных стандартах (ГОСТ), отраслевых стандартах (ОСТ), технических условиях (ТУ) и иных регламентирующих документах, утверждение которых проходит на общем собрании членов партнерства (СРО)[1].

Почему не устраивает существующая система СРО?

В настоящее время формирование СРО в строительстве ведется по двум принципам: отраслевому (объединение представителей строительной отрасли и специалистов, осуществляющих свою деятельность в узкоспециализированных отраслях строительства) и региональному (для строителей, находящихся в соседних регионах и объединяющихся по территориальному признаку), что показало свою несостоятельность.

Строительные организации становятся членами саморегулируемых организаций, находясь в разных регионах. Это касается тех удаленных от центра регионов РФ, в которых несколько строительных компаний захватили большую долю рынка и могут считаться монополистами этого сегмента [6]. Из-за большой удаленности расположения строительных компаний от административного центра саморегулируемых

организаций увеличиваются временные и финансовые издержки членов СРО, снижается скорость двусторонней связи между строительными организациями и СРО, и, что самое главное, уменьшается качество контроля саморегулируемой организацией над входящими в её состав членами.

По мнению профессиональных строителей и участников строительного рынка, многие из функций, возложенных на СРО, не выполняются.

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) в 2014г. провела 245 проверок в отношении 153 СРО, из них 162 в области строительства. Было обнаружено около 1100 нарушений требований законодательства о градостроительной деятельности и о саморегулировании.

Многие профессиональные участники строительной деятельности, считают, что в существующем виде саморегулирование в строительстве не оправдало себя.

В новом формате СРО будут применяться более совершенные правила по профессиональному подбору специалистов в организации, возрастут требования к этим специалистам, сократится их количество в сравнении с тем избыточным количеством специалистов организации, которые задействованы на строительстве особо опасных объектов сейчас.

Полагаем, что решится вопрос и с незаконной «продажей» допусков к работе.

Выдав допуск строительной компании, СРО несет ответственность за качество ее работы. За ошибки при производстве работ приходится платить из компенсационного фонда, а он не такой большой. Выплаты часто оказываются непомерно большими для СРО.

Анализ эффективности института саморегулирования позволил выявить наиболее важные недостатки данной организации:

- отсутствие четко сформулированных целей и задач, а также единых подходов к целям и функциям создания саморегулируемых организаций в отраслевых законах о саморегулировании;
- отсутствие механизма реализации фундаментальных функций СРО [6].

Поэтому решением данной проблемы стало принятие нового федерального закона №372 о создании региональных СРО [4]:

«Членами саморегулируемой организации, осуществляющей свою деятельность в области строительства, могут быть только индивидуальные предприниматели и (или) юридические лица, которые зарегистрированы в том же субъекте Российской Федерации, в котором зарегистрирована данная саморегулируемая организация...» (ч. 3 ст. 55.6 ГК от 3.07.16). Эта норма вводится с 1 июля 2017 года.

В Пензенской области создана и зарегистрирована Ассоциация строителей Пензенской области «СУРА». В октябре 2016 года зарегистрировано порядка 100 организаций, которые выразили готовность вступить в новую региональную СРО.

С 1 июля 2017 членами СРО должны быть только лица, которые работают с заказчиком и участвуют в обязательных конкурсных процедурах. Данная дата является также предельным сроком по исключению из СРО тех организаций, которые не вошли в данный регион до 1 декабря 2016 г.

Принятый законопроект отменит не только допуски к строительным работам, но и членство мелких организаций в СРО.

Обязательным членство в СРО останется для генподрядчиков, все остальные строительные организации могут и не состоять в СРО. По мнению экспертов, это позволит решить несколько проблемных задач: освободит малые и средние компании от необходимости платить страховые взносы, расходовать средства на содержание аппарата саморегулируемой организации и определит организацию, ответственную за всё происходящее на объекте строительства [7].

Для организаций, участвующих в конкурсных процедурах, новым законопроектом определён дополнительный взнос в компенсационный фонд. При реализации нового закона придется решать ряд сложных организационных вопросов:

- не во всех регионах можно создать конкурентную среду между СРО;

- страховка рисков генподрядчика в страховых компаниях будет проблематична из-за больших сумм и не всегда ясного имиджа строительных организаций;
- не ясно, какова схема возмещения убытков вследствие некачественного выполнения строительных работ, а ее надо разработать уже сейчас.

Согласно ст. 55.16 [2] СРО в пределах средств компенсационного фонда несет субсидиарную ответственность по обязательствам своих членов, возникшим вследствие причинения вреда, в случаях, если вред причинен вследствие недостатков строительных работ. Однако реально доказать необходимость выплаты из компенсационного фонда достаточно сложно, поскольку в ст. 55.16 [2] отсутствует понятие вреда. При определении вреда следует руководствоваться Гражданским кодексом РФ (ст. 1095), где указано, что подлежит возмещению вред, причиненный жизни, здоровью или имуществу гражданина либо имуществу юридического лица вследствие конструктивных, рецептурных или иных недостатков товара, работы или услуги.

Данные недостатки свидетельствуют о том, что на сегодняшний день система саморегулирования в той форме, которая предложена, еще не готова выступить альтернативой существующему саморегулированию [6].

Но, несомненно, принятое законодательство повысит уровень ответственности строителей и даст возможность совершенствовать в будущем эту систему общественных отношений, управлять деятельностью ассоциированных СРО.

Список литературы

1. Гуткин, А.Е. Внутренние стандарты саморегулируемых организаций (СРО) в строительстве и их влияние на качество продукции, выпускаемой организациями-членами СРО // Технология и организация строительного производства. – 2012. – № 2. – С. 30–36.
2. Градостроительный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ (с изменениями) // СПС «КонсультантПлюс».
3. Довгуля, А.В. Недобросовестные СРО в строительстве / А.В. Довгуля // Вестник магистратуры. – 2015. – № 4–1 (43). – С. 60–62.
4. О саморегулируемых организациях: Федеральный закон от 01.12.2007 г. N 315-ФЗ // СПС «Консультант Плюс».
5. Некоторые проблемы саморегулируемых организаций в сфере строительства / П.А. Алмазова, Е.М. Алябьева, Д.С. Живайкина, А.А. Удалов // NovaInfo.Ru. – 2015. – Т. 1. № 39. – С. 66–70.
6. Кванина, В.В. Системные недостатки института саморегулирования / В.В. Кванина // «Информационно-аналитический портал».

References

1. Gutkin, A.E. Internal standards of self-regulating organizations (SROs) in the building and their impact on the quality of products produced by member organizations SRO / A.E. Gutkin // Technology and organization of construction industry. – 2012. – № 2. – P. 30–36.
2. Town Planning Code of the Russian Federation: the Federal Law of December 29, 2004 № 190-FZ (as amended) // SPS «Consultant».
3. Dovgulya, A.V. Unscrupulous SRO in construction / A.V. Dovgulya // Master's Herald. – 2015. – № 4–1 (43). – P. 60–62.
4. On the self-regulatory organizations: the Federal Law of 01.12.2007 N 315-FZ // SPS «Consultant».
5. Some of the problems of self-regulating organizations in the construction sector / P.A. Almazova, E.M. Alyabieva, D.S. Zhivaikina, A.A. Udalov // NovaInfo.Ru. – 2015. – Vol. 1. – № 39. – P. 66–70.
6. Kvanina, V.V. Systemic deficiencies self-regulation institute / V.V. Kvanina // «Information and analytical portal».

УДК 378.1

Пензенский государственный университет
Россия, 440000, г. Пенза, ул. Красная, д.40

Акимова Ирина Викторовна,
кандидат педагогических наук,
доцент кафедры «Информатика и методика
обучения информатике и математике»

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

Титова Елена Ивановна,
кандидат педагогических наук, доцент
кафедры «Математика и математическое
моделирование»

Penza State University
Russia, 440000, Penza, 40, Krasnaya St.

Akimova Irina Viktorovna,
Candidate of Pedagogical Sciences,
Associate Professor of the department
«Informatics and methods of teaching science
and mathematics»

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

Titova Elena Ivanovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Mathematics and
mathematical modeling»

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЗАДАЧ С ЦЕЛЬЮ УСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТАМИ, ОБУЧАЮЩИМИСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

И.В. Акимова, Е.И. Титова

Предложена методика использования информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) на занятиях по математике у студентов строительного профиля при решении профессионально ориентированных задач. Сформулированы основные требования к профессионально ориентированным задачам, приведены их примеры и пути решения через ИКТ.

Ключевые слова: образование, компетентностный подход, профессионально ориентированные задачи, информационные и коммуникационные технологии

THE USE OF ICT FOR THE SOLUTION OF PROFESSIONALLY- ORIENTED TASKS BY THE STUDENTS OF BUILDING PROFILE

I.V. Akimova, E.I. Titova

Proposed

Methodology of using information and communicative technology (ICT) in math classes for students of building profile in solving professionally tasks is given. The basic requirements for professionally oriented tasks are formulated, their examples and ways their solutions using ICT are given.

Keywords: education, competence approach, professionally-oriented tasks, information and communication technology (ICT)

Задачи в обучении математике, как известно, играют роль многоаспектного явления. Они могут выступать в качестве: носителя действий, адекватных содержанию математики; средства целенаправленного формирования знаний, умений, навыков; способа организации и управления учебно-познавательной деятельностью студентов; одной из форм реализации методов обучения; средства связи теории с практикой. В частности, применение в обучении математике строителей профессионально ориенти-

рованных задач позволяет формировать у будущего специалиста необходимые профессиональные качества.

Сформулируем требования, предъявляемые к профессионально ориентированным задачам, используемым в рамках математической подготовки строителя:

1) задача должна описывать ситуацию, возникающую в профессиональной деятельности строителя;

2) в задаче должны быть неизвестны характеристики некоторого профессионального объекта или явления, которые надо исследовать субъекту по имеющимся известным характеристикам с помощью средств математики;

3) решение задач должно способствовать прочному усвоению математических знаний, приемов и методов, являющихся основой профессиональной деятельности строителя;

4) задачи должны обеспечить усвоение взаимосвязи математики с общетехническими и специальными дисциплинами;

5) содержание задачи и ее решение требуют знаний по специальным предметам;

6) содержание профессионально ориентированной математической задачи определяет пропедевтический этап изучения понятий специальных дисциплин;

7) решение задач должно обеспечивать математическое и профессиональное развитие личности инженера-строителя.

В системе высшего образования на смену узкому информационному подходу традиционного образования приходит более широкий стратегический подход – личностно-ориентированный. Образование преследует цель подготовки специалиста, готового к исследовательской, проектной, организационной, предпринимательской деятельности, и должно сопровождаться личностно-развивающим подходом; предполагается целенаправленная работа по формированию готовности студента к самообразованию [1].

Использование информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) является важной частью подготовки студентов строительных специальностей. ФГОС нового поколения содержит ряд общепрофессиональных и профессиональных компетенций, направленных на работу с информацией, проведение ее анализа, умение действовать инновационно и технически грамотно при использовании строительных технологий, материалов, конструкций, систем жизнеобеспечения и информационно-компьютерных средств.

Немаловажную роль играет рациональное использование ИКТ и при подготовке студентов строительных специальностей.

Использование ИКТ позволяет: визуализировать предметную информацию с помощью наглядного представления на экране теоретического материала, технологического строительного процесса и т.п.; осуществлять подготовку выпускника к профессиональной деятельности в условиях информационного общества; индивидуализировать и дифференцировать процесс обучения за счет возможности изучения, повторения материала с индивидуальной скоростью усвоения; осуществлять управление учебной деятельностью и контроль результата усвоения учебного материала; развивать межпредметные связи [2].

Нашей задачей является использование современных ИКТ, в частности математических пакетов MathCAD, GoeGebra, для решения профессионально ориентированных математических задач при подготовке студентов – будущих строителей.

Данные программы являются одними из популярных и легких в освоении математических пакетов благодаря своему интуитивному интерфейсу и широкому кругу возможностей, начиная от простых вычислительных задач и заканчивая символьными вычислениями и построением графиков функций. Запись формул идет в естественной форме, как с помощью символов клавиатуры, так и с помощью шаблонов. Система содержит гибкий полнофункциональный текстовый редактор. Также имеется встроенный язык программирования, позволяющий решать полноценные задачи на программирование.

Математический пакет MathCAD имеет следующие преимущества:

- использование программы в качестве «расширенного» калькулятора с целью проверки результатов численных и символьных вычислений;
- организация самостоятельной работы учащихся в обоих профилях;
- освобождение учащегося от рутинной работы по выполнению сопутствующих вычислений при решении творческих заданий, что стимулирует познавательный интерес к изучению математики;
- исследование сложных математических моделей, уделение большего внимания качественным аспектам работы;
- разработка электронных учебников с помощью встроенных средств математического пакета;
- организация проверки и самопроверки знаний учащихся.

Существуют попытки классификации профессионально ориентированных математических задач по типам математических моделей. Применительно к строительным специальностям такая классификация приведена в учебном пособии В.В. Карпова, А.В. Коробейникова. Авторы выделяют четыре основных типа математических моделей, встречающихся в строительстве:

1. Математические модели в виде систем линейных уравнений. К таким моделям сводятся задачи на расчет прочности, устойчивости и колебаний элементов строительных конструкций и целых сооружений.

2. Математические модели в виде дифференциальных уравнений и их систем. С помощью моделей такого вида описываются задачи на исследование напряженно-деформированного состояния стержней, пластин и оболочек.

3. Математические модели задач линейного программирования. К ним относятся задачи на нахождение оптимального расхода материалов, ресурсов, сырья и т. д.

4. Математические модели экспериментальных процессов, например создание новых строительных материалов.

Рассмотрение различных типов моделей в решении профессиональных задач происходит при изучении каждой математической темы. Педагогу необходимо использовать в педагогическом процессе данные задачи. Примерами таких задач могут служить задачи следующего содержания.

Задача 1. В комбинат входят три завода, на которых в 2003 г. и 2004 г. выпущены железобетонные изделия пяти видов, характеризующихся соответственно матрицам A_{ij} и B_{ij} :

$$A_{ij} = \begin{pmatrix} 20 & 10 & 0 & 5 & 10 \\ 10 & 10 & 4 & 0 & 6 \\ 60 & 20 & 0 & 10 & 10 \end{pmatrix}; B_{ij} = \begin{pmatrix} 25 & 8 & 0 & 5 & 7 \\ 12 & 12 & 6 & 0 & 10 \\ 62 & 21 & 0 & 10 & 10 \end{pmatrix},$$

где i – номер завода – изготовителя; j – название изделия.

Цены на 1 м³ железобетонных конструкций разные: панели перекрытий – 50 руб./м³, панели стеновые – 55 руб./м³, колонны и балки – 90 руб./м³, лестничные марши и площадки – 60 руб./м³ и комплектующие детали – 75 руб./м³. Эта

информация образует матрицу $C = \begin{pmatrix} 50 \\ 55 \\ 90 \\ 60 \\ 75 \end{pmatrix}$.

Найти общий объем годовой продукции в денежном выражении для второго завода за 2004 г.

Решим данную задачу в математическом пакете MathCAD.

Зададим две матрицы (рис.1).

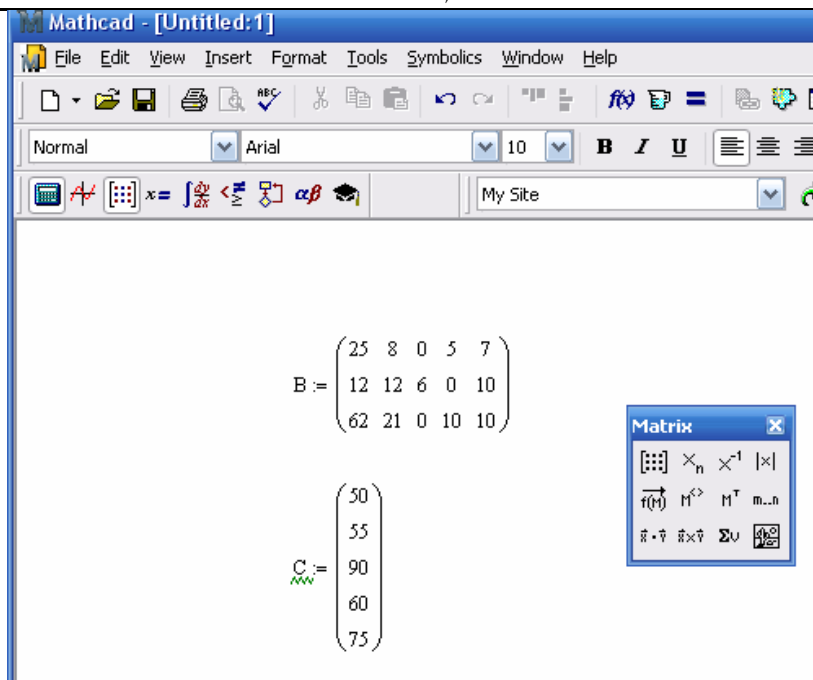


Рис. 1. Решение задачи в математическом пакете MathCAD

С помощью функции `submatrix` выделяем из матрицы B вторую строку.

$B1 := \text{submatrix}(B, 1, 1, 0, 4);$

$B1 = (12 \ 12 \ 6 \ 0 \ 10).$

Находим произведение $B1$ и C .

$S := B1 \cdot C;$

$S = 2.55 \times 10^3.$

Задача 2. Предложен проект, предусматривающий размещений средств не только по указанным статьям, но и по четырем этапам строительства. Вводится матрица $A = \{a_{ij}\}_{4 \times 4}$ (a_{ij} – сумма, вкладываемая в i -ю статью, на j -м этапе строительства)

$$\begin{pmatrix} 67 & 30 & 28 & 96 \\ 43 & 51 & 69 & 20 \\ 26 & 13 & 17 & 29 \\ 64 & 35 & 10 & 30 \end{pmatrix} \text{ (тыс. руб.).}$$

Определить:

1. Суммарный фонд средств.

2. По какой из статей производятся максимальные затраты, а по какой – минимальные?

Решение данной задачи в математическом пакете MathCAD. Непосредственно функции, вычисляющей сумму элементов матрицы, в MathCAD нет. Но есть возможность найти сумму элементов вектора. Поэтому матрица разбивается на столбцы, и вычисляются суммы их элементов.

$$A := \begin{pmatrix} 67 & 30 & 28 & 96 \\ 43 & 51 & 69 & 20 \\ 26 & 13 & 17 & 29 \\ 64 & 35 & 10 & 30 \end{pmatrix}.$$

$$S := \sum A^{(0)} + \sum A^{(1)} + \sum A^{(2)} + \sum A^{(3)}.$$

$S = 608.$

Задача 3. Для производства двух видов конструктивных плит (А и Б) на заводе железобетонных конструкций используется 3 вида сырья. Нормы расхода сырья каждого вида на изготовление одной плиты приведены в таблице. В ней же указаны прибыль от реализации изделия каждого вида и общее количество сырья каждого вида, которое может быть использовано предприятием.

Вид сырья	Нормы расхода сырья		Общее кол-во сырья
	А	Б	
1	12	4	300
2	4	4	120
3	3	12	252
Прибыль	30	40	

Учитывая, что изделия А и Б могут производиться в любых соотношениях (сбыт обеспечен), требуется найти такой план производства, при котором прибыль предприятия будет максимальной [3].

Решение данной задачи также будет представлено в математическом пакете MathCAD (рис.2).

```

ORIGIN := 1
целевая функция
F(x) := 30·x1 + 40·x2

Задание начальных значений
x :=  $\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ 

Ввод ограничений
Given
12·x1 + 4·x2 ≤ 300
4·x1 + 4·x2 ≤ 120
3·x1 + 12·x2 ≤ 252
x1 ≥ 0
x2 ≥ 0

Решение
x := Maximize(F, x)

x =  $\begin{pmatrix} 12 \\ 18 \end{pmatrix}$ 

```

Рис. 2. Решение задачи в математическом пакете MathCAD

Эту же задачу можно решить и графически в математическом пакете GoeGebra.

Для этого построим графики ограничений. С помощью параметра a будем двигать целевую функцию (рис. 3).

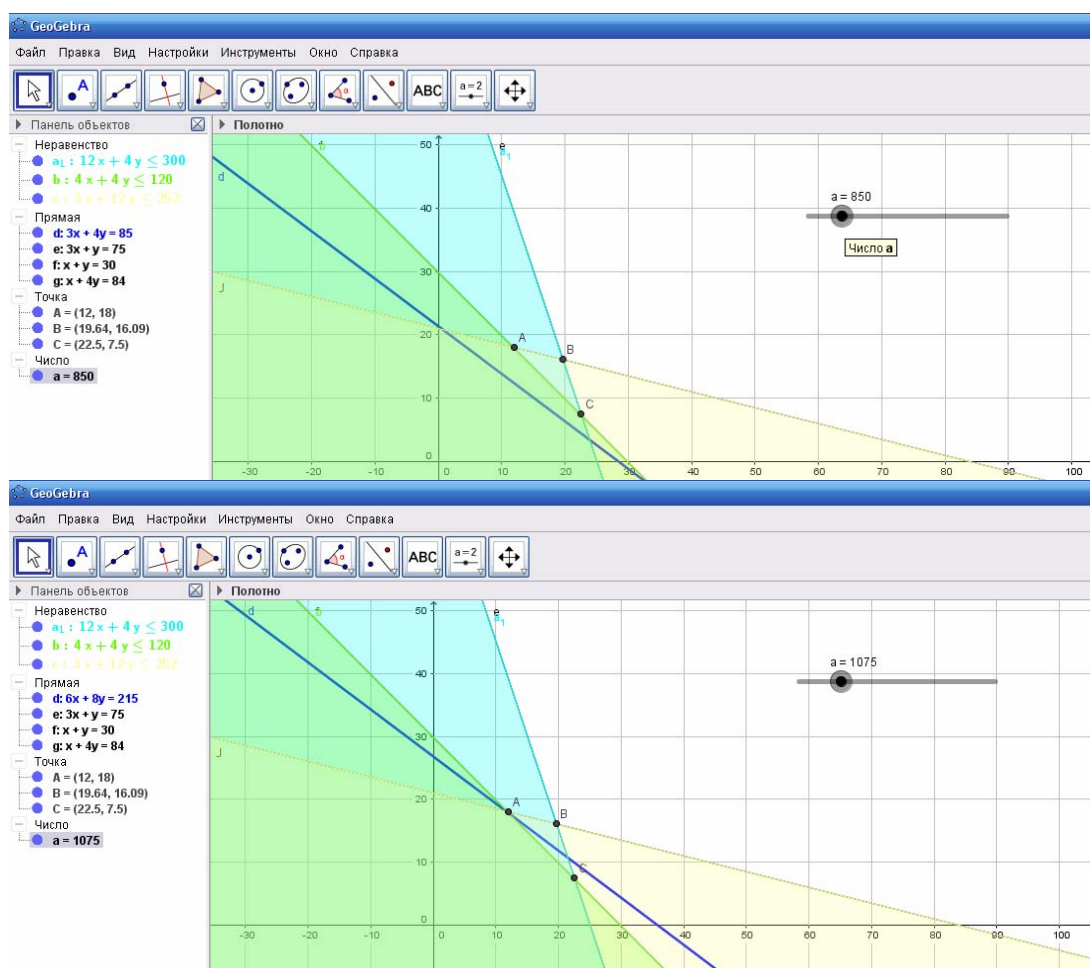


Рис. 3. Решение задачи в математическом пакете GeoGebra

Успешное решение представленных нами задач предполагает наличие у студентов не только определенных математических знаний, но и интеллектуальных умений профессионального характера, связанных с особенностями профессионального мышления инженера-строителя. Предлагаемая методика позволяет решать профессиональные задачи с использованием ИКТ, что благоприятно влияет на формирование компетенций у студентов строительного направления при изучении математики.

Список литературы

1. Гарькина, И.А. Образовательная система с позиций идентификации и управления / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 2. – С. 143–146.
2. Акимов, И.В. Применение ИКТ на занятиях по математике у студентов строительных специальностей для развития профессиональной направленности / И.В. Акимов, Е.И. Титова, А.В. Чапрасова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5.
3. Гарькина, И.А. Специальные разделы высшей математики (учебное пособие (уровень магистратуры)) / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 11–1. – С. 89.

References

1. Garkina, I.A. Educational System from the point of View of Identification and Management / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Regional Architecture and Construction. – 2013. – № 2. – P. 143–146.
2. Akimova, I.V. The use of ICT in the classroom for mathematics students of building specialities for the development of professional orientation /I.V. Akimova, E.I. Titova, A.V. Chaprasova // Modern problems of science and education. – 2014. – №5.
3. Garkina, I.A. Special Sections of Advanced Maths (Textbook (Master level)) / I.A. Garkina, A.M. Danilov // International Magazine of Experimental Education. – 2014. – № 11–1. – P. 89.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Кочеткова Майя Владимировна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Управление качеством
и технология строительства»
E-mail: M.V.Kochetkova@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Kochetkova Maya Vladimirovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Quality management and
technology of building production»
E-mail: M.V.Kochetkova@mail.ru

РАСЧЁТНЫЕ МОДЕЛИ РОСТВЕРКОВ ПОД КОЛОННЫ

М.В. Кочеткова

Представлены расчётные пространственные каркасно-стержневые модели многорядных свайных ростверков под колонну и их модификации в зависимости от изменения основных факторов.

Ключевые слова: каркасно-стержневые модели, ростверки под колонну, напряжённо-деформированное состояние, оценка прочности

CALCULATED MODEL OF RAFT FOUNDATIONS FOR COLUMNS

M.V. Kochetkova

Calculated spatial frame-core models of multi-row pile raft foundations for columns and their modification depending on key factors changes are presented.

Keywords: frame-core model, raft foundations for column, stress-strain state, assessment of strength

Ростверк является одной из основных несущих конструкций зданий. Ранее проведённые исследования [1–8] показали, что наиболее прогрессивными являются методы расчета, основанные на каркасно-стержневых моделях.

Основную роль в работе свайных ростверков под колонну играют главные сжимающие и растягивающие напряжения, которые концентрируются в наклонных сжатых бетонных полосах, расположенных над опорами-сваями, и в горизонтальных растянутых арматурных поясах.

Элементы стержневых моделей должны имитировать наклонные сжатые полосы и горизонтальные растянутые пояса, образованные концентрацией главных напряжений.

Анализ характера распределения усилий в уровне оголовка каждой сваи, а также в уровне подошвы фундамента позволяет сделать следующие выводы. Площади эпюр распределения указанных усилий и центры тяжести этих эпюр определяют размеры рабочих участков поперечного сечения свай-опор и подошвы колонны. Количество и расположение рабочих площадок внутри поперечного сечения колонны определяются количеством и схемой расположения свай. Очевидно, что рабочие площадки внутри поперечного сечения колонны, а также рабочие участки соответствующих свай играют роль условных грузовых и опорных площадок и, по сути, формируют наклонные полосы бетона, в пределах которых концентрируются главные сжимающие напряжения. Соединение центров тяжести условных грузовых и опорных площадок позволяет получить замкнутые круго- или эллипсообразные контуры, которые в полной мере копируют линии равных напряжений (рис. 1).

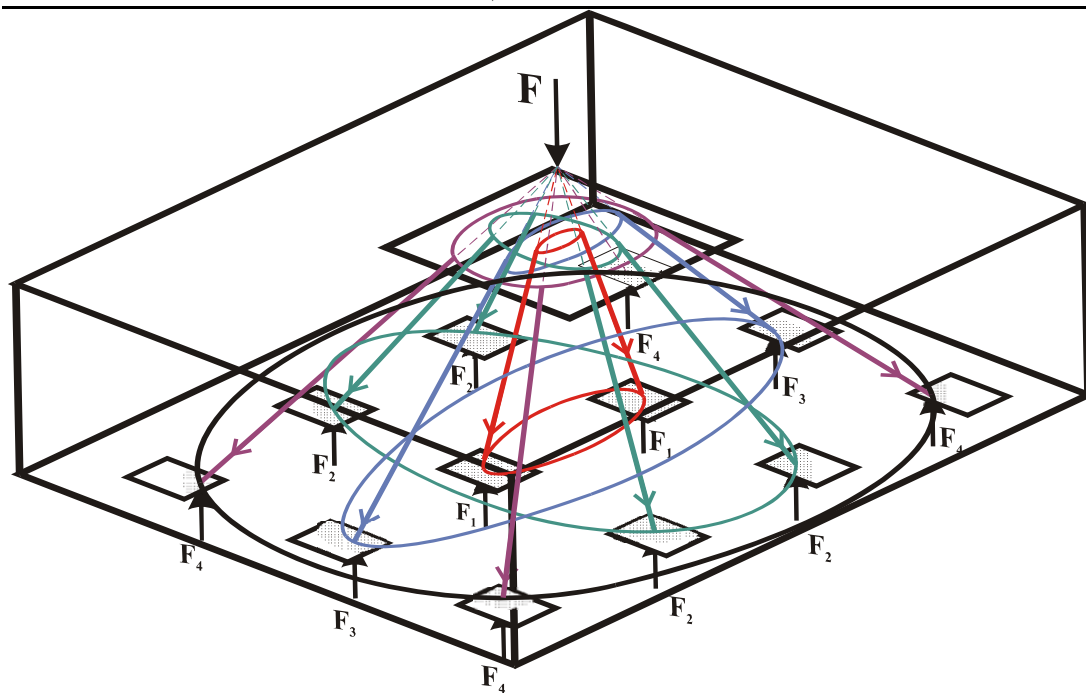


Рис. 1. Схема образования пространственных каркасно-стержневых моделей, линии равных напряжений

Характерно, что наклонные полосы, имеющие меньший радиус, испытывают большие усилия и имеют большие размеры рабочих площадей. По мере удаления свай от оси колонны, т.е. с увеличением радиуса, указанные усилия уменьшаются пропорционально размерам рабочих площадок.

Нами разработана новая методология построения стержневых моделей и предложен принцип модифицирования расчетных моделей (ПКСМ-А, ПКСМ-Ф), который основан на копировании напряженно-деформированного состояния и схем разрушения ростверков с учетом волнообразного распределения усилий (имеется в виду снижение усилий в сваях по мере их удаления от оси колонны).

Варианты моделей, отличающиеся индексами А и Ф, характеризуют принципы построения моделей.

Для расчетных моделей ПКСМ-А использован ранее разработанный принцип построения стержневых моделей для трех- и четырехсвайных ростверков. Этот принцип включал в себя определение положения ключевых точек моделей, углов наклона и размеров поперечных сечений сжатых бетонных полос и определение положений расчетных сечений элементов стержневой модели, ориентированных в пространстве. В качестве ключевых принимались точки пересечения линии действия внешних усилий с верхней гранью ростверка, а также точки пересечения осей свай с осью арматурного пояса. Стержневая расчетная модель образуется соединением ключевых точек и представляет собой ферменную аналогию. Основным недостатком указанных моделей, с одной стороны, является выбор ключевых точек, расположенных на вертикальных осях симметрии грузовых и опорных площадок. В результате каждая наклонная полоса, в пределах которой концентрируются сжимающие напряжения, не имеет рабочей грузовой площадки поверху – в пределах поперечного сечения подошвы колонны, а также понизу – в пределах поперечного сечения сваи. Тем самым искажается угол наклона сжатых полос, расположенных между сваями и колонной, а также искажаются характеристики коротких элементов. С другой стороны, с увеличением числа свай, т.е. с появлением новых рядов свай относительно оси колонны, резко увеличивается неравномерность передачи усилий на сваи. Происходит увеличение ординат эпюр распределения реактивных усилий над внутренними гранями свай. Одновременно смещается центр тяжести указанных эпюр (рис. 2). Следовательно, ключевые точки модели также должны смещаться. Выявленные недостатки не приво-

дят к большим погрешностям в трех- и четырехсвайных ростверках. При многорядном расположении свай, т.е. при увеличении свай от шести до двенадцати, погрешности становятся значительными, появляется необходимость корректировать построение расчетных моделей.

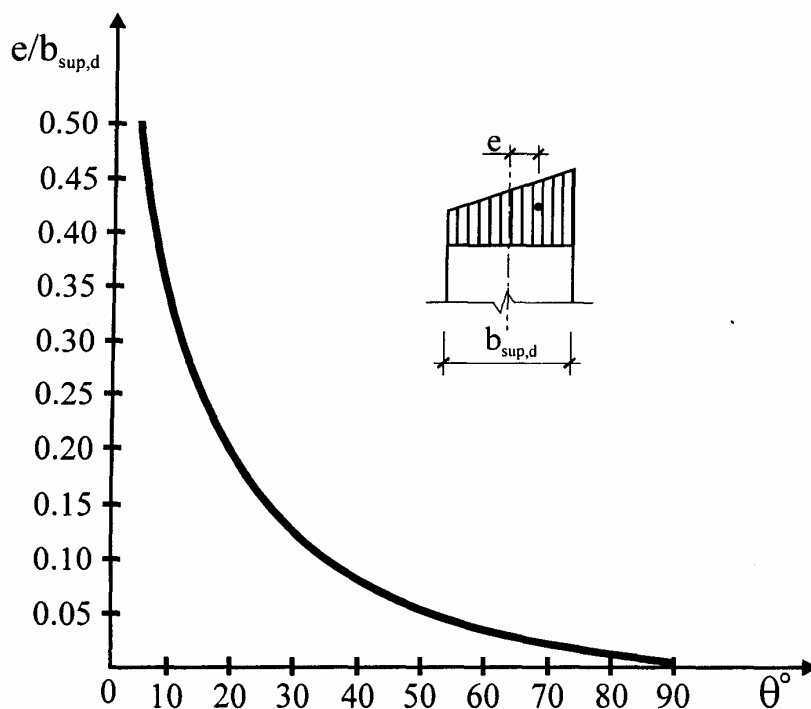


Рис. 2. Зависимость центра тяжести эпюры над свайей от угла наклона сжатого потока θ

Рассмотрим модификации расчетных моделей многорядных ростверков свайных фундаментов под колонну на примере ростверков с многорядным расположением свай.

Основной проблемой при разработке модифицированных моделей ПКСМ-А (рис.3) является определение размеров и положения грузовых и опорных площадок для наклонных полос, число которых определяется количеством свай. Определение грузовых и опорных площадок производится с учетом выявленных закономерностей изменения размеров указанных площадок с ростом числа свай.

Эти закономерности можно описать следующими аналитическими зависимостями:

$$\frac{A_{b,v,i}}{A_{b,v,i+1}} = \frac{A_{b,d,i}}{A_{b,d,i+1}} = \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_{i+1}}, \quad (1)$$

где $A_{b,v}$, $A_{b,d}$ – рабочие площади наклонных сжатых полос бетона поверху – в уровне колонн, и понизу – в уровне оголовков свай, которые в тексте условно названы рабочими грузовыми и опорными площадками; θ_i – угол наклона сжатого потока.

Следовательно, размеры и положение рабочих площадей расчетных полос бетона зависят от расположения соответствующих свай-опор относительно оси колонны, а также от размеров поперечного сечения колонны и свай. Ключевые точки модели принимаются в центре тяжести грузовых и опорных площадок, соответствующих наклонным сжатым стержням, расположенным между колонной и каждой свайей. Модифицированная стержневая модель образуется путем соединения ключевых точек, положение которых скорректировано в соответствии с результатами проведенных исследований. Тем самым устраняются выявленные недостатки расчетных моделей ПКСМ для трех- и четырехсвайных ростверков.

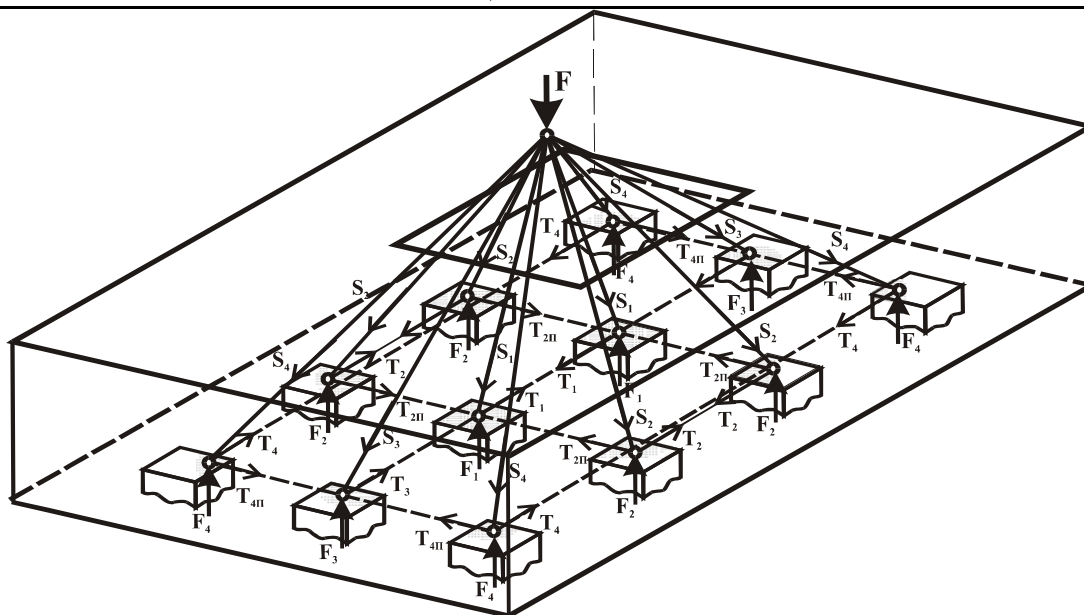


Рис. 3. Расчётная модель ПКСМ-А для двенадцатисвайного ростверка

Охарактеризуем полученную расчетную модель ПКСМ-А. Схема расположения свай в ростверках имеет несколько осей симметрии. Сваи располагаются симметрично относительно оси колонны. Симметричность соблюдается как по диагоналям, соединяющим центры свай-близнецов, так и по продольным и поперечным осям ростверка. При построении пространственной модели оси наклонных сжатых полос, расположенных над сваями-близнецами, имеют общую ключевую точку, находящуюся на вертикальной оси колонны. Положительным является преимущество модифицированной модели ПКСМ-А, которая состоит из нескольких моделей, построенных ранее для коротких балок и представляющих собой плоскую модель треугольного очертания с растянутым поясом, расположенным вдоль диагоналей, соединяющим ключевые точки модели на уровне оголовков свай. Можно сделать вывод о том, что плоская модель КСМ является своеобразным модулем при построении пространственных моделей ПКСМ и ПКСМ-А. С другой стороны, имеем иную ситуацию. В результате механики объединения плоских моделей КСМ путем их поочередного перемещения от одной пары свай-близнецов к другой вокруг оси колонны образуется единая пространственная система ПКСМ-А. Полученная стержневая структура состоит из автономных пространственных каркасно-стержневых моделей ПКСМ, каждая из которых объединяет сваи с центрами, находящимися на соответствующих эллипсообразных контурах (см. рис.1). Автономность работы указанных моделей реализуется за счет распределения суммарной нагрузки, передаваемой колонной, пропорционально расположению каждой системы относительно оси колонны.

Основным недостатком является то, что пирамидообразные модели ПКСМ и ПКСМ-А не позволяют в полной мере учитывать характер изменения усилий в сваях по мере их удаления от колонны. Кроме того, нагружение свай через наклонные сжатые полосы бетона, оси которых ориентированы на оси колонны, в некоторой степени искажают действительную работу ростверков. Наличие большого объема экспериментально-теоретических исследований, проведенных автором, и позволяет усовершенствовать модель ПКСМ-А. Совершенствование расчетной модели осуществляется в двух направлениях. Следуя первому направлению, опираясь на метод копирования, введем в стержневую модель вертикальные стержни, которые имитируют равнодействующие эпюры напряжений над каждой свайей.

Вторым направлением является поочередная, условно говоря, волнообразная передача усилий от колонны на сваи. Для построения модели ПКСМ-Ф (рис. 4) соединим вершину вертикального стержня, расположенного над каждой предыдущей свайей, с ключевой точкой модели, находящейся над каждой последующей свайей. Для

образования замкнутости пространственной модели соединим вершины вертикальных стержней над каждой свай в продольном и поперечном направлениях. Таким образом, вдоль продольных и поперечных рядов свай образуются плоские стержневые модели в виде ферм одинакового очертания. Отличаются плоские фермы только высотой вертикальных стержней. В продольных и поперечных рядах свай, оси которых совпадают с продольной и поперечной осью колонны, вертикальные стержни отсутствуют, при этом в верхнем общем узле прикладывается внешняя нагрузка, передаваемая колонной.

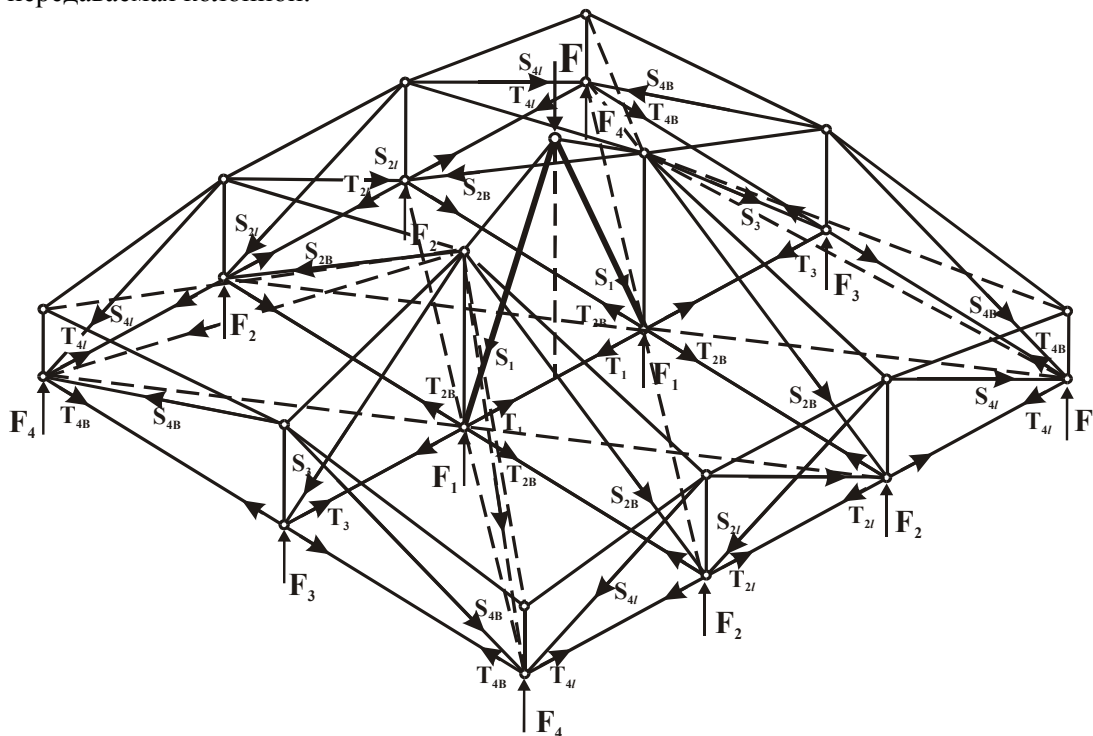


Рис. 4. Расчётная модель ПКСМ-Ф для двенадцатисвайного ростверка

В результате имеем пространственную стержневую модель сложного очертания, которую можно считать структурной аналогией ростверка. Динамика передачи усилий выглядит следующим образом. Нагружение происходит, начиная с близлежащих свай, поочередно по мере их удаления от оси колонны. Передача усилий осуществляется так же, как в модели ПКСМ-А, через наклонные полосы бетона, расположенные между колонной и близлежащими сваями. Затем указанный цикл передачи нагрузки повторяется от свай к свае через наклонные полосы бетона, расположенные в коротком пролете между соседними сваями. Угол наклона сжатых полос, которые имитируются наклонными стержнями, зависит от расстояния между соседними сваями в продольном и поперечном направлениях, а также от величины усилий или высоты вертикальных стержней, расположенных над каждой свай.

Охарактеризуем полученную модель. Все преимущества, которыми обладала модель ПКСМ-А, присущи новой модели ПКСМ-Ф. Структурная модель ПКСМ-Ф также имеет единый многочисленно повторяющийся модуль, т.е. стержневую модель КСМ. С помощью такой модели эффект работы коротких элементов, характерный для работы ростверков, реализуется с помощью наклонных сжатых и растянутых стержней, объединяющихся в единый пространственный узел над центром рабочей площади каждой свай. При этом угол наклона сжатых стержней изменяется в зависимости от усилий в сваях и в большей степени имитирует работу ростверков. Пространственная модель ПКСМ-Ф позволяет произвести расчет и описать схему разрушения в результате разрушения сжатой бетонной полосы и растянутых арматурных поясов, расположенных над каждой свай и ориентированных в пространстве. Таким образом, поставленная задача – усовершенствовать модель ПКСМ-А – выполняется с помощью модели ПКСМ-Ф.

Одним из недостатков указанной модели является сложность ее структуры. Однако эта сложность вводится преднамеренно, поскольку такая модель более точно описывает действительное напряженно-деформированное состояние ростверка. С другой стороны, расчет таких моделей ориентирован на компьютерные технологии. В заключение следует добавить, что сложная структура ПКСМ-Ф в определенном смысле является кажущейся, так как она заключается в многочисленном повторении с заданной закономерностью простого модуля – плоской стержневой модели ПКСМ.

Выводы

1. Разработана новая методология построения стержневых моделей, предложен принцип модифицирования расчетных моделей (ПКСМ-А, ПКСМ-Ф), который основан на копировании напряженно-деформированного состояния и схем разрушения ростверков с учетом волнообразного распределения усилий, имеется в виду снижение усилий в сваях по мере их удаления от оси колонны.
2. Проблема определения положения условных грузовых площадок, соответствующих числу свай, решена с учетом напряженно-деформированного состояния ростверков. Размеры и положение грузовых площадок определяются по предлагаемым зависимостям, основу которых составляет соотношение высоты ростверка и длины сжатых полос.
3. Модель ПКСМ-А хорошо описывает физическую работу ростверков под колонну при увеличении количества свай до $n = 6$. При дальнейшем увеличении числа свай отклонение опытных и расчетных величин возрастает. Причиной является значительное отклонение действительных углов наклона главных сжимающих напряжений над сваями при $n > 6$ от соответствующих углов в модели ПКСМ-А.
4. Для дальнейшего совершенствования расчета ростверков разработана модель ПКСМ-Ф. Отличительной особенностью модели является смещение верхних ключевых точек по направлению вертикальных осей, проходящих через центры тяжести эпюр передачи нагрузки в соответствии с уменьшением усилий в сваях по мере их удаления от оси колонны.
5. Расчетная модель ПКСМ-Ф в большей степени учитывает основные особенности работы ростверков при любом количестве свай.

Список литературы

1. Особенности напряжённо-деформированного состояния коротких железобетонных элементов / Ю.П. Скачков, О.В. Снежкина, М.В. Кочеткова, А.В. Корнюхин // Молодой ученый. – 2013. – № 12 (59). – С. 172–175.
2. Оценка напряжённо-деформированного состояния железобетонных ростверков / Ю.П. Скачков, А.В. Корнюхин, О.В. Снежкина, М.В. Кочеткова // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1(18). – С.72–75.
3. Кочеткова, М.В. Особенности распределения напряжений и деформаций в многорядных свайных ростверках под колонны/ М.В. Кочеткова, О.А. Гончаренко // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2(19). – С.137–143.
4. Кочеткова, М.В. Работа ростверков под колонны при многорядном расположении свай / М.В. Кочеткова, Н.И. Гусев // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2(19). – С.144–151.
5. Кочеткова, М.В. Численные исследования работы ростверков под колонну при многорядном расположении свай / М.В. Кочеткова, Е.С. Алёнкина // Молодой учёный. – 2015. – №7(87). – С.165–168.
6. Кочеткова, М.В. Развитие трещин в бетоне ростверков под колонны при изменении основных факторов / М.В. Кочеткова, О.А. Гончаренко // Молодой ученый. – 2015. – № 9(89). – С.255–258.
7. Кочеткова, М.В. Методы расчёта ростверков под колонны / М.В. Кочеткова // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2016. – №5. – С.218–223.

8. Кочеткова, М.В. Разработка методов расчёта ростверков под колонну на основе стержневых моделей / М.В. Кочеткова // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2016. – №6–1. – С.162–167.

References

1. Features of the stress-strain state of the short reinforced concrete elements / Y.P. Skachkov, O.V. Snezhkina, M.V. Kochetkova, A.V. Korniyuhin // Young scientist. – 2013. – № 12 (59). – P. 172–175.
2. Evaluation of the stress-strain state of reinforced concrete raft foundations / Y.P. Skachkov, A.V. Korniyuhin, O.V. Snezhkina, M.V. Kochetkova // Regional architecture and construction. – 2014. – №1 (18). – P.72–75.
3. Kochetkova, M.V. Features of distribution of stresses and strains in the multi-row pile grillage under columns / M.V. Kochetkova, O.A. Goncharenko // Regional architecture and construction. – 2014. – №2 (19). – P.137–143.
4. Kochetkova, M.V. Work raft foundations under columns with multiple-row arrangement of piles / M.V. Kochetkova, N.I. Gusev // Regional architecture and construction. – 2014. – №2 (19). – P.144–151.
5. Kochetkova, M.V. Numerical research work under the grills column with multiple-row arrangement of the piles / M.V. Kochetkova, E.S. Alenkina // Young scientist. – 2015. – №7 (87). – P.165–168.
6. Kochetkova, M.V. The development of cracks in the concrete raft foundations under columns when changing the main factors. / M.V. Kochetkova, O.A. Goncharenko // Young scientist. – 2015. – № 9 (89). – P.255–258.
7. Kochetkova, M.V. Methods for calculating the raft foundations under columns / M.V. Kochetkova // Education and science in the modern world. Innovation. – 2016 – №5. – P.218–223.
8. Kochetkova, M.V. Development of methods of calculation of grills under the column based on the core models / M.V. Kochetkova // Education and science in the modern world. Innovation. – 2016 – №6–1. – P.162–167.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Солманидина Наталья Викторовна,
кандидат философских наук, доцент
кафедры «Иностранные языки»
E-mail: solomona@mail.ru

Гринцова Ольга Васильевна,
кандидат филологических наук, доцент,
зав. кафедрой «Иностранные языки»
E-mail: english@pguas.ru

Гринцов Дмитрий Михайлович,
аспирант

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Solmanidina Natalia Victorovna,
Candidate of Philosophy, Associate Professor
of the department «Foreign Languages»
E-mail: solomona@mail.ru

Grintsova Olga Vasilyevna,
Candidate of Philology, Associate Professor,
Head of the department «Foreign Languages»
E-mail: english@pguas.ru

Grintsov Dmitry Mikhailovich,
Postgraduate

УСТНАЯ РЕЧЬ КАК ВАЖНЕЙШИЙ КОМПОНЕНТ КОММУНИКАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Н.В. Солманидина, О.В. Гринцова, Д.М. Гринцов

Рассматривается связное высказывание как важнейший компонент обучения устной речи студентов технических вузов. Анализируется структура высказывания. Выявлены объективные и субъективные трудности организации устного общения.

Ключевые слова: устная речь, коммуникативное обучение, иностранный язык, структура устного высказывания, технический вуз

SPEAKING AS AN IMPORTANT COMPONENT OF COMMUNICATIVE FOREIGN LANGUAGE TEACHING AT TECHNICAL UNIVERSITY

N.V. Solmanidina, O.V. Grintsova, D.M. Grintsov

Speaking as an essential component of oral speech training for students of technical universities is considered. The structure of an oral statement is analyzed. The objective and subjective difficulties of oral speech are revealed.

Keywords: speaking, communicative foreign language teaching, oral statement structure, technical university

Анализ тенденций развития теории и практики обучения иностранным языкам в современном образовании показывает существенное изменение методических ориентаций, что нашло отражение в ведущих терминах методики, в целевых установках обучения: обучение языку как средству общения пришло на смену просто обучению языку.

Одной из тенденций в обучении иностранным языкам на современном этапе является коммуникативный подход. Без коммуникативности нет современной методики. От студента требуется не выполнение грамматических заданий, чтение и пересказ текстов, а умение говорить на языке. Это предполагает усвоение иностранного языка непосредственно в одной из его первичных функций – функции общения. Говоря о коммуникативной деятельности, следует иметь в виду текстовую деятельность, т.е. поток текстуально организованной смысловой информации, структуриро-

ванной с учётом мотивов и целей общения. Постоянное практическое использование языка помогает преодолевать «нелюбовь» студентов к лингвистическим манипуляциям, делает обучение привлекательным, т.к. согласуется с конечной целью и тем самым обеспечивает усвоение говорения как средства общения. Также существенно изменился социокультурный контекст изучения иностранных языков. Приоритетное значение приобрело обучение языку как средству общения и приобщения к духовному наследию изучаемой страны и народов. Всё интенсивнее разрабатываются идеи интегрирования культуры в практику преподавания предмета. Происходит социокультурное и когнитивное развитие обучаемых, обогащается кругозор студентов. Это предполагает познание чужой действительности и восприятие иной культуры. Межкультурное обучение имеет под собой серьезные основания. Оно обусловлено целым рядом объективно существующих факторов: международное сотрудничество и контакты людей, в том числе и повседневная коммуникация; лингво-этнокультурная самоидентификация личности; геоэкологический мир и постнациональная реальность (геокультурные миры и транснациональная реальность); поликультурная реальность, мультилингвальный контекст; межкультурный контекст, в том числе с помощью новых информационных и коммуникационных технологий.

В современной высшей технической школе реализуется деятельностный коммуникативно-когнитивный подход в обучении иностранным языкам. Приоритет коммуникативной цели в обучении иностранному, в частности английскому, языку направлен на обучение практическому владению языком по специальности для активного применения иностранного языка в профессиональном общении. В процессе достижения коммуникативной цели реализуются воспитательные, развивающие и общеобразовательные функции иностранного языка как предмета.

Сущностью коммуникативной компетенции является наличие умений соотносить языковые средства с заданиями и условиями общения, учитывать отношения между коммуникантами, организовывать речевое общение с учетом социальных норм поведения и коммуникативной целесообразности высказывания.

Коммуникативно-когнитивный подход в лингвистике оказал большое влияние на методику преподавания иностранных, в частности английского, языков, выдвинув в центр внимания такие проблемы, как ситуативно-обусловленное обучение устным видам речевой деятельности, типология текстов и ситуаций, разработка коммуникативно-ориентированных упражнений, широкое использование ролевых игр и т.д. Анализу связного высказывания с учетом многолетнего опыта преподавания в техническом вузе и посвящена данная статья.

Структура связного высказывания, состоящего из ряда сверхфразовых единств, или смысловых компонентов, – это строение всего тематического высказывания от начала до конца, включая порядок следования его частей и тип смысловой связи между исходным компонентом и остальными, а также последних между собой. Связное высказывание этого уровня состоит, как правило, из трех смысловых частей: введения, основной части и заключения.

Во введении говорящий использует фразы, направленные на то, чтобы привлечь внимание слушающего, а также фразы, указывающие на предмет (тему) и цель высказывания. Основная часть высказывания является подробным раскрытием темы, упомянутой во введении. Она обычно состоит из одного или нескольких сверхфразовых единств, или смысловых компонентов. Ее целостность достигается путем использования соответствующих средств связи, как между фразами, так и между компонентами. Замечено, что связь между компонентами осуществляется в основном с помощью тех же союзов и союзных слов, тех же соотносительных средств связи, которые используются для соединения фраз.

Целостность основной части была бы недостаточной, если бы говорящий пренебрегал выбором соответствующей последовательности смысловых компонентов и фраз внутри компонентов. Под логической последовательностью понимают изложение мыслей по определенному «логическому основанию», своеобразному логическому ориентиру. Выбор логического основания зависит от коммуникативной направлен-

ности сообщения. Так, в рассказе логическим основанием является хронологическое следование событий. В описании предметной ситуации логическим основанием является не столько порядок расположения предметов в пространстве, сколько степень их важности. Например, при описании города мы обычно начинаем с описания его центра. При описании сложной иерархической ситуации очень часто используется логическая последовательность от общего к частному. Например, при описании какого-либо строения мы даем сначала его общую характеристику, затем описываем отдельные помещения, потом – отдельные части этих помещений и, наконец, – отдельные предметы. Заключение, как правило, является кратким выводом или заключением из сказанного в основной части.

Вполне вероятно, конечно, отклонения от приведенной выше схемы построения связного высказывания, но они влекут за собой затруднения в восприятии и запоминании информации слушающими.

Преимущество приведенного выше плана тематического высказывания, на наш взгляд, заключается в следующем. Информация говорящего о своем желании сказать что-то новое, важное настраивает внимание слушающего на активное восприятие сообщения. Упоминание говорящим конкретной цели или предмета высказывания дает возможность слушающему благодаря прежнему аналогичному речевому опыту в какой-то мере антиципировать ход сообщения. В процессе восприятия антиципированный схематический план заполняется фактами, а при необходимости претерпевает изменения. Наличие вывода или заключения помогает слушающему обобщить, а следовательно, усвоить полученную информацию. Необходимо еще раз отметить, что изложение мыслей говорящим в определенной логической последовательности намного увеличивает вероятность того, что схема восприятия, антиципируемая слушающим, совпадет с планом связного высказывания, построенным говорящим.

Использование средств связи между смысловыми частями тематического высказывания также зависит от его коммуникативной направленности или типа высказывания. Так, в описании предметной ситуации введение часто присоединяется к основной части с помощью обобщающих слов, словосочетаний, например: *I'm going to tell you about It consists of two (three, the following)*

Введение в рассказе, т.е. описание динамической событийной ситуации, подсоединяется к основной части с помощью обобщающих слов, словосочетаний, указывающих на последующий порядок событий, например: *It happened as follows (in the following way)... It happened like this.*

Основная часть, как в первом, так и во втором случае является последовательным раскрытием значения обобщающей фразы. Вывод или заключение присоединяются к основной части с помощью союзных слов со значением заключения, следствия или обобщения.

Выбор типа связи между компонентами основной части также зависит от типа высказывания. Так, в основной части рассказа связь между компонентами осуществляется с помощью союзных слов, указывающих на цепь событий: начало событий (*once, one day, recently, last year*), последовательность событий (*first, then, after that, some days later, later on*), завершение событий (*finally, in conclusion*). В более зрелых сообщениях, таких, как рассказ о событиях, хронологическая цепь может прерываться, если говорящий хочет пояснить причину, цель, последствия или описать время и место события с помощью соответствующих типов сложноподчиненных предложений. Иногда основная хронологическая цепь повествования прерывается (описываются прошлые события), затем повествование возвращается в прежнее русло. Замечено, что порождение и аудирование таких сообщений представляют большую трудность по сравнению с сообщениями, передающими простую хронологическую цепь действий.

Организация устного общения на занятиях в вузе является наиболее сложным и уязвимым местом в учебно-воспитательном процессе по иностранному языку. Эти трудности обусловлены как объективными, так и субъективными причинами. К первым можно отнести прежде всего недостаточную четкость требований программы к процессу совершенствования навыков и умений студентов в устной речи, отсутствие

теоретических работ, освещающих особенности методики работы над устной речью на завершающем этапе, и конкретных практических рекомендаций, адресованных преподавателям. Субъективные трудности коренятся в следующем: работа преподавателей носит интуитивный характер, они пробуют и ошибаются, не хватает опыта работы, различен уровень методического мастерства преподавательских кадров.

Создавшееся положение в области обучения и совершенствования устной речи стимулирует поиск наиболее рациональной методики работы над устной речью в вузе.

Специфика обучения в вузе заключается в том, что, во-первых, требования к говорению представлены в динамике (имеется в виду расширение тематики устной речи за счет включения в программу новых подтем и сюжетов) и, во-вторых, диалогическая и монологическая речь объединены и определены как умение вести беседу (с использованием элементов описания, повествования и рассуждения по тематике) и обсуждать прочитанные и прослушанные тексты, выражая свое отношение к их содержанию. Такая общая формулировка заставляет обратиться к рекомендациям ФГОСов ВО по иностранному языку, которые видят задачи работы над устной темой в совершенствовании навыков и умений устной речи. Оно происходит за счет качественных изменений высказываний студентов: увеличения доли самостоятельности в выборе языковых средств и содержания сообщений; выражения собственного мнения по поводу прочитанного, услышанного или увиденного за счет обязательного лексического минимума.

Требования к уровню владения устной речью в вузе высокие, материал, на основе которого предлагается вести общение, серьезен и объем, поэтому трудно выделить систему упражнений, показывающих, как привести студента к конечному уровню владения устной речью, несмотря на то, что в учебниках предлагаются содержательные опоры для устных высказываний. Авторы лишь конкретно определили место для работы над развитием умений вести беседу – практическое занятие. Анализ рекомендуемых домашних заданий показал, что в домашних условиях работа над устной речью носит подготовительный характер. Это можно объяснить, во-первых, тем, что реальные или приближенные к реальным условия иноязычного общения, в которых должна совершенствоваться устная речь, создаются на практическом занятии по иностранному языку; во-вторых, если предположить, что в вузе следует требовать от студентов только неподготовленной продуктивной речи, то ситуации речевого общения, стимулирующие речь в учебных условиях, возникают под управлением преподавателя на занятиях.

Эти и многие другие вопросы стимулируют поиск преподавателем иностранного языка резервов времени и возможностей студентов общаться на иностранном языке в устной форме, рациональной организации такого общения как в аудитории, так и самостоятельно.

Список литературы

1. Гринцов, Д.М. Работа с научным текстом на иностранном языке / Д.М. Гринцов, О.В. Гринцова, Н.В. Солманидина // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 1–1 (26). – С. 143–147.
2. Гринцов, Д.М. Дополнительная квалификация переводчика в техническом университете / Д.М. Гринцов, О.В. Гринцова, Н.В. Солманидина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 2. – С. 188–191.
3. Гринцова, О.В. Самоанализ урока английского языка в вузе / О.В. Гринцова, Н.В. Солманидина // Иностранные языки: лингвистические и методические аспекты. – 2014. – № 27. – С. 18–23.
4. Солманидина, Н.В. Письменные работы как средство контроля и оценки знаний студентов по иностранному языку в техническом вузе / Н.В. Солманидина, О.В. Гринцова // Иностранные языки: лингвистические и методические аспекты. – 2014. – № 27. – С. 69–78.

5. Гринцова, О.В. Реализация коммуникативного подхода в обучении английскому языку в техническом вузе: моногр. / О.В. Гринцова, Н.В. Солманидина. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 180 с.

References

1. Grintsov, D.M. Work with a scientific text in a foreign language / D.M. Grintsov, O.V. Grintsova, N.V. Solmanidina // Regional architecture and engineering. – 2016. – № 1–1 (26). – P. 143–147.
2. Grintsov, D.M. Additional qualification of an interpreter at Technical University / D.M. Grintsov, O.V. Grintsova, N.V. Solmanidina // Regional architecture and engineering. – 2014. – № 2. – P. 188–191.
3. Grintsova, O.V. Self analysis of an English lessons at University / O.V. Grintsova, N.V. Solmanidina // Foreign languages: Linguistic and methodical aspects. – 2014. – № 27. – P. 18–23.
4. Solmanidina, N.V. Written works as a means of monitoring and evaluation of students' knowledge of a foreign language at Technical University / N.V. Solmanidina, O.V. Grintsova // Foreign languages: Linguistic and methodical aspects. – 2014. – № 27. – P. 69–78.
5. Grintsova, O.V. Implementation of the communicative approach in the teaching of English at Technical University : monograph / O.V. Grintsova, N.V. Solmanidina. – Penza: PGUAS, 2012. – 180 p.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ENGINEERING SYSTEMS

УДК 628.3

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Андреев Сергей Юрьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
E-mail: andreev3007@rambler.ru

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

Шеин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
зав.кафедрой «Механика»

Князев Владимир Александрович,
аспирант кафедры «Водоснабжение,
водоотведение, санитария и гидротехника»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Andreev Sergey Yuryevich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: andreev3007@rambler.ru

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

Shein Alexander Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of
Department «Mechanics»

Knyazev Vladimir Aleksandrovich,
Postgraduate of the department «Water
supply, sewerage and hydraulic engineering»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАВНОВЕСНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ИЗВЛЕКАЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, А.И.Шеин, В.А. Князев

Приведены результаты теоретических исследований процессов адсорбции растворенных веществ из природных и сточных вод. Получено уравнение, позволяющее определить точное значение равновесной концентрации извлекаемого в процессе сорбционной очистки вещества. Использование предложенной методики расчета позволит оптимизировать параметры сорбционной очистки природных и сточных вод.

Ключевые слова: процесс адсорбции, равновесная концентрация, сорбент, сорбат, поверхностный коэффициент массопереноса, объемный коэффициент массопереноса, скорость диффузии

MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE EQUILIBRIUM CONCENTRATIONS OF EXTRACTS DURING SORPTION PURIFICATION OF POLLUTANTS

S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, A.I. Shein, V.A. Knyazev

The results of theoretical studies of the processes of adsorption of dissolved substances from natural water and sewage. The equation allows to determine the exact value of the equilibrium concentration of agents extracted in the process of sorption cleaning. The proposed method of calculation will allow to optimize the parameters of sorption purification of natural water and sewage/

Keywords: adsorption process, the equilibrium concentration, sorbent, sorbate, the surface mass transfer coefficient, volumetric mass transfer coefficient, diffusion rate

Увеличивающиеся масштабы сброса промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод на фоне постоянно возрастающих требований к их 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 также является одним из наиболее эффективных методов глубокой очистки сточных вод от растворенных веществ [1, 2].

Сорбция – это технологический процесс поглощения загрязняющего вещества (сорбата) твердым телом или жидкостью (сорбентом). Наибольшее распространение в технологиях очистки природных и сточных вод получили процессы адсорбции. В процессе адсорбции поглощение загрязняющего вещества происходит межповерхностным слоем твердого сорбента.

В процессе сорбционной очистки под действием силового поля границы раздела фаз «поверхность сорбента – жидкость» происходит переход молекулы извлекаемого вещества из жидкой фазы на поверхность сорбента. В процессе адсорбции происходят два вида межмолекулярного взаимодействия: межмолекулярное взаимодействие удаляемого вещества, находящегося в растворе с молекулами растворителя (процесс гидратации), и межмолекулярное взаимодействие сорбата с поверхностными молекулами сорбента. Сила, удерживающая извлекаемое вещество на поверхности сорбента, представляет собой разность этих двух сил межмолекулярного взаимодействия. При увеличении энергии гидратации молекул извлекаемого в процессе сорбционной очистки вещества уменьшается величина энергии, с которой оно удерживается на поверхности сорбента, в результате чего существенно снижается эффективность очистки. В связи с этим наибольший эффект возможно достичь в процессе сорбционной очистки сточных вод, загрязненных гидрофобными растворенными веществами.

Процессы адсорбции загрязняющих веществ могут осуществляться как в статических условиях, при которых гранула адсорбента движется совместно с объемом очищаемой жидкости, так и в динамических условиях, при которых очищаемая жидкость движется относительно слоя адсорбента.

В последнее время интенсивное развитие получили технологические процессы очистки воды методом статической адсорбции с использованием тонкодисперсных порошковых активированных углей.

В этом случае порошковый активированный уголь интенсивно перемешивается со всем объемом обрабатываемой воды в течение определенного времени, затем образовавшуюся суспензию осветляют на скорых зернистых фильтрах или фильтрах с намывным слоем фильтрующего материала.

Проведение корректного анализа кинетики сорбционных процессов и условий равновесия компонентов раствора может позволить оптимизировать технологические параметры сорбционной очистки сточных вод и обеспечить ее высокую эффективность. При проведении этого анализа необходимо учитывать конкретные условия, в которых находится сорбат в растворе, такие, как: степень его ионизации, присутствие других загрязняющих веществ, образование молекулярных ассоциатов и т.п. Использование основ теории адсорбции растворенных загрязняющих веществ – необходимое

условие для корректного решения технологических задач, возникающих при проектировании локальных канализационных очистных сооружений.

Классическая теория адсорбции газов и паров не позволяет полностью описать процесс сорбционной очистки многокомпонентной смеси, которой являются реальные сточные воды. Даже в случае теоретического описания простейшего процесса адсорбции одного вида растворенного вещества необходимо учитывать и поведение двухкомпонентной системы «растворитель – растворенное вещество», а также особенности гетерогенной границы раздела фаз «твердая поверхность – раствор». Теоретическое допущение, рассматривающее растворитель как некую гомогенную инертную среду, также является некорректным. При описании процесса сорбционного извлечения одного или нескольких видов загрязняющих веществ необходимо учитывать, что часть поверхности сорбента покрыта этими веществами. На поверхности сорбента наблюдается взаимное конкурентное вытеснение веществ, присутствующих в растворе и имеющих различные величины энергии взаимодействия с поверхностными молекулами сорбента, что обуславливает избирательную адсорбцию одного из компонентов, имеющего наибольшую энергию взаимодействия.

В связи 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 растворенных загрязнений сорбентом.

Оценить кинетику процесса адсорбции растворенных загрязнений сорбентом можно, рассмотрев материальный баланс загрязняющих веществ. Формальной схеме процесса адсорбции соответствует следующая упрощенная форма составления материального баланса загрязняющих веществ [3]:

$$M = M_p + M_A, \text{ мг}, \quad (1)$$

где M – начальная масса сорбата в растворе, мг; M_p – масса сорбата в растворе в состоянии равновесия, мг; M_A – масса сорбата, адсорбированного на сорбенте к моменту наступления состояния равновесия, мг.

В практике инженерных расчетов удобнее выражать количество вещества в единицах концентрации C , мг/л. С этой целью необходимо поделить уравнение (1) на величину объема обрабатываемого раствора W_p , л [4]:

$$\frac{M}{W_p} = \frac{M_p}{W_p} + \frac{M_A}{W_p}.$$

$$C = C_p + C_A, \text{ мг/л}, \quad (2)$$

где C – величина начальной концентрации сорбата в растворе, мг/л; C_p – равновесная концентрация сорбата в растворе, мг/л; C_A – концентрация сорбата, удаленного из раствора (адсорбированного на сорбенте) к моменту наступления состояния равновесия, мг/л.

Поскольку дозы добавляемых в раствор сорбентов составляют менее 1 % от массы раствора, как правило, величину объема раствора W_p принимают равной величине объема смеси «раствор – адсорбент» W_{CM} ($W_p = W_{CM}$).

Из (2) имеем

$$C_A = C - C_p, \text{ мг/л}. \quad (3)$$

Таким образом, движущей силой процесса адсорбции является разность концентраций растворенного вещества в объеме раствора и на поверхности адсорбента, которая со временем уменьшается (концентрация растворенного вещества в растворе C приближается к величине равновесной концентрации C_p).

Скорость адсорбции растворенных веществ на поверхности адсорбента зависит от того, насколько далеко в данный момент система «адсорбент – раствор» находится от состояния равновесия.

$$\frac{dC}{dt} = \beta_W (C - C_p), \quad \text{мг/л} \cdot \text{ч}; \quad \text{г/м}^3 \cdot \text{ч}, \quad (4)$$

где β_W – коэффициент пропорциональности, получивший название объемного коэффициента массопереноса, ч^{-1} .

Поскольку молекулы растворенного вещества попадают в пространство пор зерна адсорбента через устья пор, находящихся на внешней поверхности зерна адсорбента, то скорость процесса адсорбции пропорциональна удельной площади межфазового контакта, приходящейся на единицу объема раствора (удельной площади контакта жидкости с внешней поверхностью зерна адсорбента) A_W , $\text{м}^2/\text{м}^3$.

Величина удельной межфазовой площади контакта A_W определяется как отношение площади межфазового контакта поверхности зерен адсорбента с раствором к объему этого раствора.

$$A_W = \frac{A}{W_p}, \quad \text{м}^2 / \text{м}^3. \quad (5)$$

Величина объемного коэффициента массопереноса β_W , ч^{-1} , определяется как произведение удельной межфазовой площади контакта на поверхностный коэффициент массопереноса β_A , м/ч .

$$\beta_W = \beta_A \cdot A_W, \quad \text{ч}^{-1}. \quad (6)$$

Величина удельной площади контакта фаз «поверхность сорбента – раствор» может быть так же определена как

$$A_W = D_C \cdot A_y, \quad \text{м}^2/\text{м}^3, \quad (7)$$

где D_C – доза сорбента, г/м^3 ; A_y – удельная внешняя поверхность зерен сорбента в навеске массой 1 грамм, $\text{м}^2/\text{г}$.

Величина удельной внешней поверхности зерен сорбента в навеске массой 1 грамм A_y , как правило, определяется экспериментально в ходе аэродинамических испытаний слоя сорбента по стандартной методике исследования характеристик сыпучих материалов.

Аналитически величина A_y может быть определена по формуле

$$A_y = A_q \cdot N_q, \quad \text{м}^2/\text{г}, \quad (8)$$

где A_q – средняя площадь одной частицы в навеске сорбента, $\text{м}^2/\text{шт.}$; N_q – количество частиц в навеске сорбента массой 1 грамм.

Количество частиц в единице массы сорбента определяется как отношение объемов всех частиц сорбента в навеске W , $\text{м}^3/\text{г}$, к объему одной эквивалентной частицы сорбента W_q , $\text{м}^3/\text{шт.}$

$$N_q = \frac{W}{W_q} = \frac{W_c(1-\phi)}{W_q}, \quad \text{шт.}, \quad (9)$$

где W_c – объем, занимаемый навеской сорбента весом 1 грамм, $\text{м}^3/\text{г}$; ϕ – межзерновая пористость навески сорбента.

Эквивалентная частица сорбента сферической формы диаметром d_s , м, будет иметь площадь поверхности A_q , м^2 , и занимать объем W_q .

$$A_q = \pi d_s^2; \quad W_q = \frac{\pi d_s^3}{6};$$

тогда

$$A_y = \pi d_3^2 \frac{W_c(1-\varphi)}{\pi d_3^3 / 6} = \frac{6}{d_3} W_c(1-\varphi), \quad \text{м}^2/\text{г}. \quad (10)$$

Для частиц сорбента, имеющих произвольную форму, формула (10) запишется в виде

$$A_y = \frac{6K_\phi}{d_3} W_c(1-\varphi), \quad \text{м}^2/\text{г}, \quad (11)$$

где K_ϕ – коэффициент формы зерна сорбента, являющийся отношением площади его поверхности к площади поверхности равновесного по объему шара.

Разделяя переменные в уравнении (4) и интегрируя его в интервале изменения переменных dt от 0 до T и dc от C_T до C_0 , получим:

$$\beta_w T = \ln \frac{C_0 - C_p}{C_T - C_p},$$

откуда

$$\beta_w = \frac{1}{T} \ln \frac{C_0 - C_p}{C_T - C_p}, \quad \text{ч}^{-1}, \quad (12)$$

где C_0 и C_T , мг/л, – соответственно концентрации сорбата в растворе в начальный момент сорбции и через промежуток времени T , ч.

Концентрация сорбата в растворе в момент времени T может быть определена по формуле

$$C_T = (C_0 - C_p)e^{-\beta_w T} + C_p, \quad \text{мг/л}. \quad (13)$$

Важным вопросом является аналитическое определение величины равновесной концентрации C_p .

Кинетика процесса снижения концентрации сорбата в процессе сорбции, происходящая по уравнению (13), может быть проиллюстрирована графиком, представленным на рисунке.

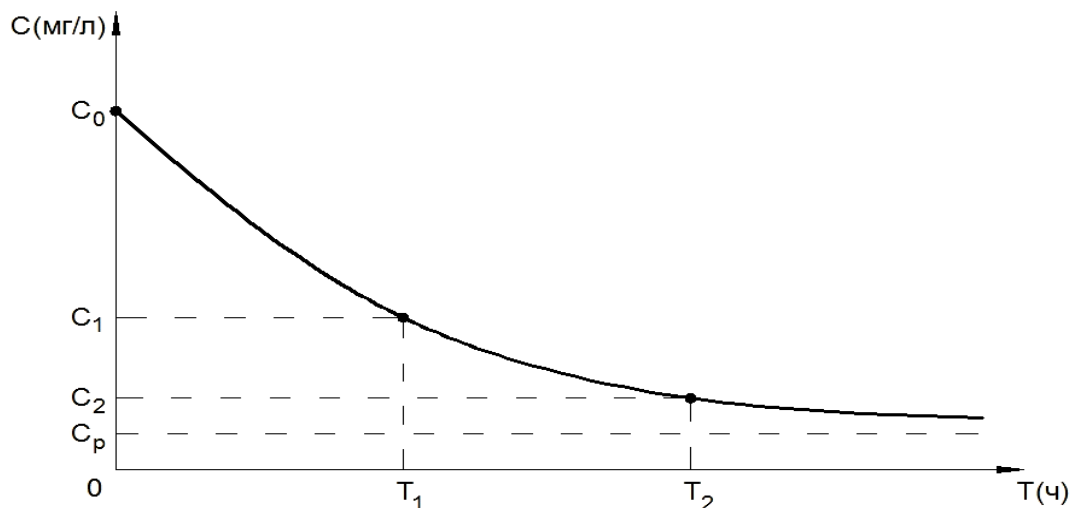


График зависимости концентрации сорбата в растворе C , мг/л, от продолжительности его контакта с адсорбентом T , ч

Поскольку величина объемного коэффициента массопереноса в процессе сорбции является постоянной величиной $\beta_w = \text{const}$, то для моментов времени T_1 и T_2 можем записать

$$\beta_w = \frac{1}{T_1} \ln \frac{C_0 - C_p}{C_{T_1} - C_p} = \frac{1}{T_2} \ln \frac{C_0 - C_p}{C_{T_2} - C_p}, \quad \text{ч}^{-1}. \quad (14)$$

Из (14) имеем

$$\ln \frac{(C_0 - C_p)^{1/T_1}}{(C_1 - C_p)^{1/T_1}} = \ln \frac{(C_0 - C_p)^{1/T_2}}{(C_2 - C_p)^{1/T_2}},$$

откуда

$$(C_0 - C_p)^{\frac{T_2 - T_1}{T_2 T_1}} \cdot (C_2 - C_p)^{\frac{1}{T_2}} = (C_1 - C_p)^{\frac{1}{T_1}}.$$

При $T_1=1$; $T_2=2$; $\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{2}$

$$(C_0 - C_p)^{\frac{1}{2}} \cdot (C_2 - C_p)^{\frac{1}{2}} = (C_1 - C_p). \quad (15)$$

Из уравнения (15) получим:

$$C_p = \frac{C_0 C_2 - C_1^2}{C_0 + C_2 - 2C_1}, \quad \text{мг/л}. \quad (16)$$

Формула (16) является аналитической зависимостью, позволяющей получить значение величины равновесной концентрации сорбата в растворе.

Используя уравнения 6, 7, 11, 12 и 16, можно определить технологические параметры процесса сорбции, что позволит корректно рассчитать и спроектировать аппаратное оформление сорбционной очистки природных и сточных вод.

Список литературы

1. Яковлев, С.В. Водоотведение и очистка сточных вод / С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов. – М.: АСВ, 2004. – 704 с.
2. Когановский, А.М. Адсорбции органических веществ из воды / А.М. Когановский. – Л.: Химия, 1990. – 256 с.
3. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод / В.И. Калицун [и др.]. – М.: Стройиздат, 2000. – 272 с.
4. Математическое моделирование кинетики процесса сорбционной очистки сточных вод./ С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, И.А. Гарькина, Г.П. Давыдов // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – №1. – С.148–153.

References

1. Yakovlev, S.V. Sewage and waste water treatment / S.V. Yakovlev, Y.V. Ravens. – M.: DIA, 2004. – 704 p.
2. Koganovsky, A.M. Adsorption of organic substances from water / A.M. Koganovsky. – L.: Chemistry, 1990. – 256 p.
3. Laboratory workshop on sanitation and wastewater treatment / V.I. Kalitsun [et al.]. – M.: Stroyizdat, 2000. – 272 p.
4. Mathematical modeling of the sorption kinetics of the process of wastewater treatment. / S.Y. Andreev, B.M. Grishin, I.A. Garkina, G.P. Davydov // Regional architecture and engineering. – 2012. – №1. – P.148–153.

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

Андреев Сергей Юрьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
E-mail: andreev3007@rambler.ru

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

Князев Владимир Александрович,
аспирант кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»

Давыдов Геннадий Павлович,
аспирант кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»

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

Andreev Sergey Yuryevich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: andreev3007@rambler.ru

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

Knyazev Vladimir Aleksandrovich,
Postgraduate of the department «Water
supply, sewerage and hydraulic engineering»

Davydov Gennadiy Pavlovich,
Postgraduate of the department «Water
supply, sewerage and hydraulic engineering»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ТРУБЧАТОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СМЕСИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, В.А. Князев, Г.П. Давыдов

Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований процесса перемешивания сточных вод с реагентами в трубчатом гидродинамическом устройстве. Получены уравнения для определения точных значений пульсационной скорости в пристеночной области потока Δv_* и коэффициента турбулентной диффузии $D_{\Delta v}$. Использование полученных уравнений позволит оптимизировать процессы смешения сточных вод с реагентами в трубчатом смесительном устройстве и повысить эффект их реагентной очистки.

Ключевые слова: смесительное устройство, реагентная очистка, градиент скорости, пульсационная скорость, коэффициент турбулентной диффузии, диссипация энергии

MATHEMATICAL MODELLING OF TUBULAR HYDRODYNAMIC MIXING DEVICE OPERATION

S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, V.A. Knyazev, G.P. Davydov

The results of experimental and theoretical researches of mixing process of sewage with reagents in the tubular hydrodynamic device are given. The equations for determination exact values of pulsating speed in near-wall stream area Δv_* and turbulent diffusion coefficient $D_{\Delta v}$ are obtained. The use of the obtained equations allows to optimize mixing processes of sewage with reagents in the tubular mixing device and to raise the effect of their reagent purification.

Keywords: mixing device, reagent purification, speed gradient, pulsating speed, turbulent diffusion coefficient, dissipation of flow energy

Одним из наиболее распространенных процессов в химической технологии является процесс перемешивания. Аппараты с перемешивающими устройствами широко

используются для проведения весьма разнородных технологических процессов, таких, как гомогенные и гетерогенные химические реакции, адсорбция, экстракция, диспергирование суспензий и эмульсий [1, 3].

Интенсивность протекания процесса перемешивания определяет скорость распределения растворенных веществ, взвешенных частиц и теплоты жидкости.

В результате приведения микрообъемов жидкости в вынужденное движение в процессе перемешивания может происходить диспергирование капель эмульсий, твердых частиц суспензий и дробление пузырьков газа в газожидкостной смеси. Широко используются смесительные устройства в технологических процессах реагентной очистки сточных вод, в частности при коагулировании коллоидных и мелкодисперсных примесей сточных вод. В процессе коагуляционной обработки требуется быстрое и равномерное распределение реагентов в обрабатываемом объеме для обеспечения контакта с промежуточными продуктами гидролиза коагулянта максимального количества дисперсных частиц из примесей.

Поскольку процессы гидролиза коагулянта в обрабатываемых водах протекают достаточно интенсивно и промежуточные продукты гидролиза существуют в течение короткого времени, возникает необходимость создания таких гидродинамических условий в смесительном устройстве, при которых реагент коагулянт смог провзаимодействовать с максимальным числом частиц примесей воды до того, как закончатся реакции гидролиза и полимеризации [2].

Смесительные устройства, используемые в технологических процессах коагуляционной обработки воды, принято подразделять на два типа [2]:

- 1 – механические смесительные устройства;
- 2 – гидравлические смесительные устройства.

Механические смесительные устройства представляют собой емкостные сооружения (резервуары), имеющие круглые или квадратные в плане сечения. Для перемешивания объема жидкости в механических смесителях используются лопостные, турбинные или пропеллерные мешалки, монтируемые на вертикальном валу, который приводится во вращение электрическим двигателем.

Гидравлические смесители в отличие от механических не требуют использования дополнительно энергии, подводимой к электромеханическому перемешивающему устройству, они отличаются конструктивной простотой и эксплуатационной надежностью. В смесителях гидравлического типа реализуется принцип утилизации собственной энергии потока жидкости за счет его турбулизации, создаваемой местными сопротивлениями или происходящей в результате увеличения скорости движения воды.

В настоящее время значительный интерес как в нашей стране, так и за рубежом проявляется к трубчатым гидродинамическим смесительным устройствам.

Достоинством данного типа смесительных устройств является высокая удельная производительность и интенсивность перемешивания объема обрабатываемых вод, что обуславливает возможность их использования в стесненных условиях.

Трубчатые смесители выполняются в виде конструкции, собранной из труб расчетной длины и диаметра.

Различают линейные трубчатые смесительные устройства и секционные трубчатые смесительные устройства.

Линейные трубчатые смесительные устройства выполняются в виде пакета труб одинакового диаметра.

Секционные трубчатые смесительные устройства представляют собой пакет, собранной из труб различного диаметра. Диаметр труб от секции к секции увеличивается, что позволяет последовательно уменьшать интенсивность перемешивания жидкости. По физическому механизму процессы, происходящие в трубчатом смесительном устройстве, можно подразделить на две основные группы.

Первую группу составляют процессы переноса растворенных веществ и дисперсных частиц, происходящие под воздействием турбулентных пульсаций скоростей потока в объеме аппарата. В этом случае существенную роль играет масштаб гидродинамических пульсаций потока жидкости в аппарате.

Вторую группу образуют физические явления, происходящие на границе раздела «поток жидкости – корпус аппарата». Основное влияние на скорость переноса вещества при этом оказывают характеристики приграничного слоя, которые зависят от условий течения перемешиваемой фазы в непосредственной близости к межфазной поверхности «поток жидкости – стенка». Важнейшей гидродинамической характеристикой потока в приграничной области является величина градиента скорости в пристеночном слое G_* [3]. Для турбулентного потока жидкости характерно наличие пульсаций скорости и давления; в связи с этим было предложено представлять его как результат наложения двух составляющих, одна из которых представляет неизменную во времени осредненную величину, а вторая характеризует пульсационное движение. Таким образом, мгновенную скорость в точке турбулентного потока U можно представить как сумму осредненной скорости $\bar{U}$ и пульсационной составляющей Δu [4].

$$U = \bar{U} + \Delta u, \quad (1)$$

где U – мгновенная скорость в точке потока, м/с; $\bar{U}$ – осредненная скорость в точке потока, м/с; Δu – пульсационная скорость в точке (турбулентная пульсация скорости) потока, м/с.

Величина удельной секундной массовой дистанции энергии потока жидкости в трубчатом смесительном устройстве может быть определена как

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{T \cdot M}, \frac{\text{Дж}}{\text{кгс}}, \frac{\text{Вт}}{\text{кг}} \frac{\text{м}^2}{\text{с}^3}, \quad (2)$$

где ΔA – работа, затрачиваемая на смешение, Дж; M – масса жидкости в трубчатом смесителе, кг; T – продолжительность перемешивания жидкости в трубчатом смесителе, с.

$$T = \frac{l}{v}, \text{ с}, \quad (3)$$

где l – суммарная длина потока жидкости в трубчатом смесителе, м; v – средняя скорость потока жидкости в трубчатом смесителе, м/с.

$$\Delta A = \omega \cdot l \cdot \Delta P = \omega \cdot l \cdot g \cdot \rho \cdot \Delta H = \omega \cdot l \cdot g \cdot \rho \cdot i \cdot l = \omega \cdot g \cdot \rho \cdot i \cdot l^2, \quad (4)$$

где ω – площадь сечения трубчатого смесителя, м²; ΔP – перепад давления в трубчатом смесителе, Па; g – ускорение свободного падения, м/с², ρ – плотность жидкости, кг/м³; ΔH – падение напора в трубчатом смесителе, м; i – гидравлический уклон.

Поскольку

$$M = \omega \cdot l \cdot \rho, \text{ кг}, \quad (5)$$

то

$$\varepsilon = \frac{\omega \cdot g \cdot \rho \cdot i \cdot l^2}{\omega \cdot l \cdot \rho \cdot \frac{l}{v}} = g \cdot i \cdot v. \quad (6)$$

В [5] приводятся данные, свидетельствующие о том, что энергия турбулентных пульсаций потока жидкости в пристеночной области трубчатого смесителя существенно превосходит аналогичный показатель, характеризующий уровень турбулентности в ядре потока.

В соответствии с рекомендациями, приводимыми в [5], величину пульсационной скорости в центральной части турбулентного потока в трубчатом смесителе подлежит определять по формуле

$$\Delta u_{oc} = \frac{0,2v}{\text{Re}^{0,5}}, \quad (7)$$

а в пристеночной области по формуле

$$\Delta v = \frac{0,2v}{Re^{0,125}}, \quad (8)$$

где Re – критерий Рейнольдса, характеризующий режим движения жидкости и определяемый по формуле

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}. \quad (9)$$

Здесь d – диаметр трубчатого смесителя, м; ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости, m^2/s .

В работе [5] также приводится эмпирическая формула для определения величины коэффициента турбулентной диффузии $D_{\Delta v}$, m^2/s^2 , в трубчатом смесительном устройстве диаметром d , м, при средней скорости потока жидкости v , м/с.

$$D_{\Delta v} = \frac{0,0033d \cdot v}{Re^{0,125}}. \quad (10)$$

Важной характеристикой потока жидкости является так называемая скорость касательного напряжения на стенке, или динамическая скорость v_* , м/с, величина которой может быть определена по формуле

$$v_* = v \sqrt{\frac{\lambda}{8}}, \quad (11)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения.

Для расчета трубопроводов различного назначения принято применять формулу А.Д. Альдшуля [2]

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (12)$$

где Δ – величина эквивалентной шероховатости стенок трубы, м.

В области квадратичного закона сопротивления используется формула Шифринсона [2]

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}. \quad (13)$$

В соответствии с уравнением равномерного движения жидкости в трубопроводах величина динамической скорости также может быть определена по формуле [2]

$$v_*^2 = R \cdot g \cdot i, \quad (14)$$

где R – гидравлический радиус трубопровода, м, определяемый по формуле

$$R = \frac{\omega}{\chi}. \quad (15)$$

Здесь ω – площадь поперечного сечения потока, перпендикулярного к его направлению, – живое сечение потока, m^2 ; χ – смоченный периметр – часть периметра живого сечения, по которому жидкость соприкасается с твердыми стенками, м.

В [6] была получена формула для определения величины градиента скорости G_* , с^{-1} , в пристеночной области потока

$$G_* = \frac{2v}{R}. \quad (16)$$

Формула (6) с учетом формул (14) и (16) может быть записана в виде

$$\varepsilon = g \cdot i \cdot v = g \cdot i \cdot \frac{R}{R} \cdot \frac{2}{2} \cdot v = \frac{1}{2} v_*^2 \cdot G_*.$$

Таким образом, величина удельной секундно-массовой диссипации энергии потока жидкости в трубчатом смесительном устройстве может быть определена по формуле

$$\varepsilon = \frac{1}{2} v_*^2 \cdot G_*. \quad (17)$$

Из (17) имеем

$$G_* = \frac{2\varepsilon}{v_*^2}. \quad (18)$$

Турбулентные вихри зарождаются в пристеночной области и создают максимальную величину турбулентных пульсаций скорости потока Δv (формула (8)), имеющую максимальный масштаб $\lambda_{\Delta v}$.

В турбулентном потоке жидкости присутствуют турбулентные вихри с широким спектром масштабов от $\lambda_{\Delta v}$ до λ_0 .

В соответствии с представлениями о каскадном механизме диссипации турбулентной энергии Колмогорова – Обухова предполагается наличие передачи энергии от крупномасштабных турбулентностей к более мелкомасштабным и, наконец, к вихрям, имеющим наименьший масштаб λ_0 , после чего они распадаются и содержащаяся в них энергия переходит в тепло [4]. Зарождаются в пристеночной области потока крупномасштабные вихри, имеющие масштаб $\lambda_{\Delta v}$, и движутся в приосевую область под действием силы Магнуса. В процессе движения под действием каскадного механизма диссипации турбулентной энергии их масштаб уменьшается до величины λ_0 , в результате чего в приосевых областях потока наблюдаются наименьшие значения пульсационной скорости Δv_{oc} (формула (7)).

Величина внутреннего (нулевого) масштаба турбулентности потока жидкости может быть определена из соотношения

$$\lambda_0 = 4 \sqrt[4]{\frac{v^3}{\varepsilon}}, \text{ м}, \quad (19)$$

где v – кинематический коэффициент вязкости жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$.

Величина турбулентных пульсаций скорости нулевого масштаба λ_0 может быть определена из соотношения [4]

$$\Delta v_{\lambda_0} = \sqrt[4]{\varepsilon \cdot v}, \text{ м/с}. \quad (20)$$

За относительное перемещение двух микрообъемов жидкости, находящихся на расстоянии l друг от друга в процессе перемешивания в турбулентном потоке, ответственны турбулентные пульсации скорости Δv_l , имеющие масштаб $\lambda_l \leq l$, так как при $\lambda_l > l$ оба микрообъема жидкости будут переноситься как единое целое. В связи с

этим процесс турбулентного перемешивания принято характеризовать коэффициентом диффузии D_T , м/с^2 , определяемым как

$$D_T = 2\lambda_l \cdot \Delta v_l. \quad (21)$$

Для турбулентных пульсаций, имеющих наименьший внутренний масштаб λ_0 , величина коэффициента турбулентной диффузии может быть определена по формуле

$$D_{\lambda_0} = 2\lambda_0 \cdot \Delta v_{\lambda_0} = 2\sqrt[4]{\frac{v^3}{\varepsilon}} \cdot \sqrt[4]{\varepsilon \cdot v} = 2v, \text{ м/с}. \quad (22)$$

Таким образом, величина коэффициента турбулентной диффузии D_{λ_0} , м/с^2 , нулевого масштаба λ_0 , м, при котором происходит диссипация энергии турбулентных пульсаций потока, равна удвоенной величине коэффициента кинематической вязкости жидкости $2v$, м/с^2 .

Нами было выдвинуто предположение, что величина коэффициента турбулентной диффузии $D_{\Delta v}$, м/с^2 , масштаба $\lambda_{\Delta v}$, соответствующего масштабу турбулентных пульсаций скорости потока Δv , обуславливающих процесс перемешивания в потоке жидкости, будет пропорциональна величине коэффициента кинематической вязкости жидкости v , м/с^2 :

$$D_{\alpha} = 2\lambda_{\Delta v} \cdot \Delta v = 2\alpha \cdot v, \quad (23)$$

где α – коэффициент пропорциональности.

В соответствии с законом И. Ньютона величина касательного напряжения силы вязкого трения в пристеночной области τ_* , н/м^2 , пропорциональна значению градиента скорости G_* , с^{-1} .

$$\tau_* = \mu \cdot G_*, \quad (24)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$, с учетом соотношений

$$v = \frac{\mu}{\rho} \text{ и } v_*^2 = \frac{\tau_*}{\rho}.$$

Здесь ρ – удельная плотность жидкости, кг/м^3 .

Формула (24) может быть представлена в виде

$$v_*^2 = \frac{\tau_*}{\rho} = \frac{\mu}{\rho} \cdot G_* = v \cdot G_*. \quad (25)$$

Из (16) и (24) имеем

$$G_* = \frac{v_*^2}{v} = \frac{2v}{R}. \quad (26)$$

Равенство (26) справедливо только для ламинарного потока жидкости.

Поскольку в ламинарном потоке отсутствуют пульсационные составляющие скорости потока ($\Delta v=0$) и коэффициент пропорциональности в формуле (23) $\alpha=1$, можно предположить, что для турбулентного потока будет справедливо равенство

$$G_* = \frac{2v}{R} = \frac{v_*^2}{\alpha \cdot v}; \quad (27)$$

тогда

$$\alpha = \frac{1}{2} v_*^2 \cdot \frac{R}{v \cdot v}. \quad (28)$$

Величина пульсационной скорости в пристеночной области потока Δv , м/с, может быть определена как

$$\Delta v = \sqrt[4]{\varepsilon \cdot \alpha \cdot v}. \quad (29)$$

С учетом формул (17) и (27) формула (29) может быть записана в виде

$$\Delta v = \sqrt[4]{\frac{1}{2} v_*^2 \cdot G_* \cdot \alpha \cdot v} = \sqrt[4]{\frac{1}{2} v_*^2 \cdot \frac{v_*^2}{\alpha \cdot v} \cdot \alpha \cdot v} = v_*^2 \sqrt[4]{\frac{1}{2}}. \quad (30)$$

В таблице представлены значения величины коэффициента пропорциональности α , вычисленные по формуле (28), пульсационной скорости в пристеночной области потока Δv^3 , м/с, вычисленные по формуле (8), и Δv^T , вычисленные по формуле (30), а также значения коэффициента турбулентной диффузии D_T^3 , вычисленные по формуле (10), и D_T^T , вычисленные по формулам (23) и (28) для трубчатого смесительного устройства, имеющего диаметр $d=0,05$ м и величину эквивалентной шероховатости $\Delta = 0,085 \cdot 10^{-3}$ м.

Величины средней скорости потока v , м/с	2	3	4	5,15	6	7	8
Значение числа Рейнольдса Re	99010	148515	198020	254950	297030	346535	396040
Величина коэффициента гидравлического сопротивления λ	0,0243	0,0237	0,0233	0,0223	0,0223	0,0223	0,0223
Величина динамической скорости Δv_* , м/с	0,1102	0,1633	0,2159	0,2719	0,3168	0,3696	0,4224
Величина коэффициента α	37,5744	55,0060	72,1114	88,8321	103,5089	120,7604	138,0119
Величина пульсационной скорости Δv^3 , м/с	0,0950	0,1354	0,1742	0,2173	0,2484	0,2842	0,3195
Величина пульсационной скорости Δv^T , м/с	0,0927	0,1373	0,1816	0,2287	0,2664	0,3108	0,2687
Относительная погрешность, % Δ	2,42	0,19	0,74	4,98	6,76	8,56	15,9
Величина коэффициента турбулентной диффузии D_T^3	0,00007835	0,0001117	0,0001437	0,0001793	0,0002049	0,0002345	0,0002636
Величина коэффициента турбулентной диффузии D_T^T	0,00007590	0,0001111	0,0001457	0,0001794	0,0002091	0,0002339	0,0002788
Относительная погрешность, % Δ	3,13	0,54	1,39	0,06	2,05	4,01	5,49

Приведенные в таблице данные показывают, что величины относительных погрешностей значений пульсационных скоростей, вычисленные по эмпирической формуле (8) и предложенной нами теоретической формуле (30) в трубчатом смесительном устройстве диаметром $d=0,05$ м с величиной эквивалентной шероховатости стенок $\Delta = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м в диапазоне скоростей $v=2-4$ м не превышают значения 0,19–2,42 %, величины относительных погрешностей значений коэффициентов турбулентной диф-

фузии, вычисленные по формулам (10) и (23), при этом не превышают значений $\Delta = 0,54 - 3,13\%$.

Таким образом, предлагаемая нами математическая модель обладает точными прогнозирующими свойствами и позволяет оптимизировать процесс работы гидродинамического устройства.

Список литературы

1. Сайритдинов, С.Ш. Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения / С.Ш. Сайритдинов. – М.: АСВ, 2004. – 344 с.
2. Калицун, В.И. Гидравлика, водоснабжение и канализация / В.И. Калицун, В.С. Кедров. – М.: Стройздат, 2002. – 397 с.
3. Бабенков, Е.Д. Очистка воды коагулянтами / Е.Д. Бабенков. – М.: Наука, 1977. – 356 с.
4. Ландау, Л.Д. Механика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лавшиц. – М.: Гостехтериздат, 1953. – 788 с.
5. Адельшин, А.Б. Интенсификация очистки нефтесодержащих сточных вод на основе применения струйно-отстойных аппаратов / А.Б. Адельшин, Н.И. Потехин. – Казань: КГАСА, 1997. – 207 с.
6. К вопросу гидравлического расчета трубчатого гидродинамического флокулятора / С.Ю. Андреев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №1. – С.107–114.

References

1. Sayritdinov, S.S. Hydraulics of water and wastewater systems / S.S. Sayritdinov. – M.: ASV, 2004. – 344 p.
2. Kalitsun, V.I. Hydraulics, water supply and sewerage / V.I. Kalitsun, V.I. Cedars. – M.: Stroyzdat, 2002. – 377 p.
3. Babenkov, E.D. Water purification coagulant / E.D. Babenkov. – M.: Nauka, 1977.
4. Landau, L.D. Continuum Mechanics / L.D. Landau, E.M. Lavshits. – M.: Gostehterizdat, 1953. – 788 p.
5. Adelshin, A.B. Intensification of oily wastewater through the application of jet-settling aids / A.B. Adelshin, N.I. Potekhin. – Kazan: KGASA, 1997. – 207 p.
6. On the issue of hydraulic calculation Hydrodynamic tubular flocculator / S.Y. Andreev [etc.] // Regional architecture and engineering. – 2013. – №1. – P.107–114.

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

Гришин Борис Михайлович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
E-mail: bgrishin@rambler.ru

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

Шеин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Механика»
E-mail: shein-ai@yandex.ru

Титов Евгений Александрович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»

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

Grishin Boris Mikhailovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

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

Shein Alexander Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the Department «Mechanics»
E-mail: shein-ai@yandex.ru

Titov Evgeny Alexandrovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the Department «Water supply, sewerage
and hydraulic engineering»

ПЕРВИЧНОЕ ОТСТАИВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАБОТАННЫХ В ПРЕАЭРАТОРЕ С ЗАТОПЛЕННОЙ ЗАГРУЗКОЙ

Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, А.И. Шеин, Е.А. Титов

Рассмотрены факторы, влияющие на эффективность первичного отстаивания хозяйственно-бытовых сточных вод. Приведены экспериментальные данные по кинетике отстаивания сточных вод, предварительно обработанных методом аэрации с применением листовой затопленной загрузки. Даны рекомендации по выбору оптимальных параметров работы преаэраторов при их использовании в схемах очистки сточных вод с первичными отстойниками.

Ключевые слова: хозяйственно-бытовые сточные воды, первичное отстаивание, преаэра-
тор, затопленная загрузка, биокоагуляция

PRIMARY SETTLING OF WASTE WATER PRELIMINARY TREATED IN PREAERATOR WITH FLOODED LOAD

B.M. Grishin, M.V. Bikunova, A.I. Shein, E.A. Titov

Factors affecting the efficacy of utility waste water primary settling are shown. Experimental data on kinetics of settling of utility waste water, preliminary treated with aeration method with sheet flooded load application in preaerator are presented. Recommendations for preaerators work optimal parameters at their utilization in mechanical and biological waste water purification schemes are given.

Keywords: utility waste water, primary settling, preaerator, flooded load, biocoagulation

Осаждение полидисперсных, агрегативно-неустойчивых взвешенных веществ сточных вод в отстойниках сопровождается гравитационной коагуляцией – слипанием частиц разных размеров вследствие их неравномерного оседания под действием силы тяжести. Слипание частиц при гравитационной коагуляции происходит в результате инерционных явлений, захватом мелких частиц более крупными. Слипание под действием инерционных сил в результате прямого столкновения оседающих полидис-

персных частиц наблюдается только в грубодисперсных системах с размером частиц, превышающим 100 нм.

Слипание более мелких частиц осуществляется в основном в результате осаждения захватом и подтягивания, происходящих при движении частиц по искривленным траекториям. Закономерности гравитационной коагуляции изучены Ю.И. Вейцером и З.А. Колобовой.

Для бидисперсной системы, состоящей из мелких и крупных частиц, скорость уменьшения числа мелких частиц вследствие захвата их оседающими крупными частицами будет выражаться уравнением

$$dn / dt = -Bnn_{кр}, \quad (1)$$

где n и $n_{кр}$ – счетная концентрация соответственно мелких и крупных частиц; t – время осаждения, пропорциональное высоте слоя, который прошли крупные частицы; B – коэффициент гравитационной коагуляции, равный объему, из которого за время $t=1$ крупная частица извлекает мелкие частицы (этот объем в 30–40 раз больше геометрического цилиндра, вырезаемого крупной частицей).

Для описания эффективности осветления сточных вод используется эмпирическое уравнение вида

$$\mathcal{E}_t = (t / 120)^{a/t} \mathcal{E}_{120}, \quad (2)$$

где a – эмпирический коэффициент, зависящий от концентрации взвешенных веществ, их способности к агломерации и высоты слоя воды, в котором происходит осаждение; $\mathcal{E}_{120}$ – относительное содержание оседающих веществ в сточной воде к общей массе взвешенных веществ; $\mathcal{E}_{120} = (C_0 - C_{120})100 / C_0$ (здесь C_{120} – остаточное содержание взвешенных веществ после 120 минут отстаивания в покое).

Для улучшения процесса первичного отстаивания сточных вод за счёт повышения количества крупных взвешенных частиц целесообразен способ биокоагуляции примесей с использованием прикрепленных микроорганизмов (биопленки) [1...3]. Прикрепленная биопленка может размещаться на плоскостной загрузке преаэраторов, в которые подается сжатый воздух. Значительное влияние на скорость процесса биокоагуляции загрязнений в преаэраторе оказывают интенсивность аэрации и величина удельной площади поверхности плоскостной загрузки с прикрепленной биомассой, оптимальные значения которых должны определяться экспериментально.

Объектом исследований являлись хозяйственно-бытовые сточные воды, имеющие следующие показатели: рН 7,2-7,4, ХПК 150-220 мг/л, БПК₅ 61,2-101,1 мг/л, NH_4^+ 5,8-9,7 мг/л, взвешенные вещества 83,4-116,2 мг/л. Для изменения показателей БПК и концентрации взвешенных веществ в сторону уменьшения в процессе экспериментов сточные воды разбавлялись водопроводной водой.

Испытания проводились на экспериментальных лабораторных установках, в состав которых входили преаэратор и цилиндры-отстойники. Экспериментальные исследования состояли из двух этапов.

На первом этапе исходная хозяйственно-бытовая сточная вода обрабатывалась с различной интенсивностью воздухом в преаэраторе без плоскостной загрузки, а на втором этапе – в преаэраторе с плоскостной сетчатой загрузкой, имеющей удельную площадь поверхности $F_{уд}$ от 10 до 25 м²/м³. Концентрация прикрепленной биопленки, которая наращивалась в искусственных условиях на плоскостной загрузке составляла 58–63 г/м² по сухому веществу.

Время аэрации на всех этапах экспериментальных исследований составляло 30 мин при расходе обрабатываемой воды 200 л/ч. Концентрации взвешенных веществ в исходной сточной воде без разбавления находились в пределах $C_0=93-102$ мг/л, в разбавленной воде $C_0=45-52$ мг/л.

После обработки в преаэраторе пробы воды отбирались в цилиндры-отстойники с высотой столба отстаивания 500 мм. В осветленной воде при различном времени отстаивания (30–120 мин) определялись концентрации веществ и величины БПК₅.

Графики кинетики отстаивания стоков, полученные после первого этапа исследований, показаны на рис.1. Как видно из графиков, эффект осветления неаэрированной сточной жидкости после двухчасового отстаивания не превышает 30 % при $C_0=52$ мг/л и 38 % при $C_0=94$ мг/л. Аэрация сточной воды с удельным расходом воздуха от 2 до 5 м³/(м²·ч) позволяет увеличить эффект осветления до 34–35 % при $C_0=52$ мг/л и до 41 – 42 % при $C_0=94$ мг/л.

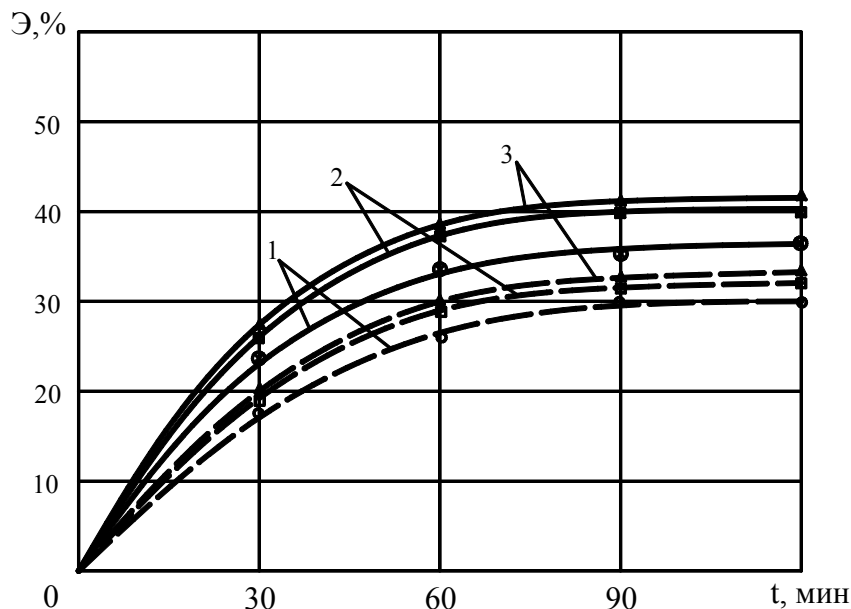


Рис 1. Зависимость эффекта осветления сточных вод от продолжительности отстаивания с преаэрацией стоков в течение 30 мин без плоскостной загрузки:

1 – при $\omega = 0$ (без аэрации); 2 – при $\omega = 2$ м³/(м²·ч); 3 – при $\omega = 5$ м³/(м²·ч);
 — — — — для $C_0=97$ мг/л; - - - - - для $C_0=48$ мг/л

Ухудшение эффекта осаждения взвешенных частиц в малоконцентрированной (разбавленной) сточной жидкости объясняется уменьшением величины скорости броуновской коагуляции, пропорциональной квадрату счетной концентрации взвешенных частиц в исследуемом объеме жидкости. Аэрация сточной воды создает турбулизацию в объеме преаэратора и значительно увеличивает вероятность столкновения и слипания частиц между собой, что в конечном счете приводит к некоторому увеличению эффекта осветления.

Анализ результатов, полученных на втором этапе экспериментов, показал, что увеличение интенсивности аэрации ω с 2 до 5 м³/(м²·ч) позволяет улучшить эффект осветления стоков в среднем на 6–7 %.

Максимальный эффект осветления сточных вод при $C_0=93-99$ мг/л увеличивался с 52 % при $F_{вд}=10$ м²/м³ до 65 % при $F_{вд}=25$ м²/м³, а при исходной концентрации взвеси $C_0=48-50$ мг/л в сточной воде диапазон изменения максимального эффекта составлял от 45 % при $F_{вд}=10$ м²/м³ до 63,3 % при $F_{вд}=25$ м²/м³. Необходимо отметить, что по мере увеличения удельной поверхности листовой загрузки в преаэраторе наблюдается разница между эффектами осветления разбавленной и неразбавленной исходной воды (7 % при $F_{вд}=10$ м²/м³; 4,5 % при $F_{вд}=25$ м²/м³; 2,3 % при $F_{вд}=20$ м²/м³ и 1,7 % при $F_{вд}=25$ м²/м³).

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать вывод о повышении эффекта первичного отстаивания после обработки стоков с аэрацией на плоскостной загрузке при увеличении ее удельной поверхности, особенно при очистке мало-

концентрированных сточных вод. Экспериментальные графики $\Xi=f(t)$ для $F_{уд}$ 20 и $25 \text{ м}^2/\text{м}^3$ показаны на рис. 2 и 3.

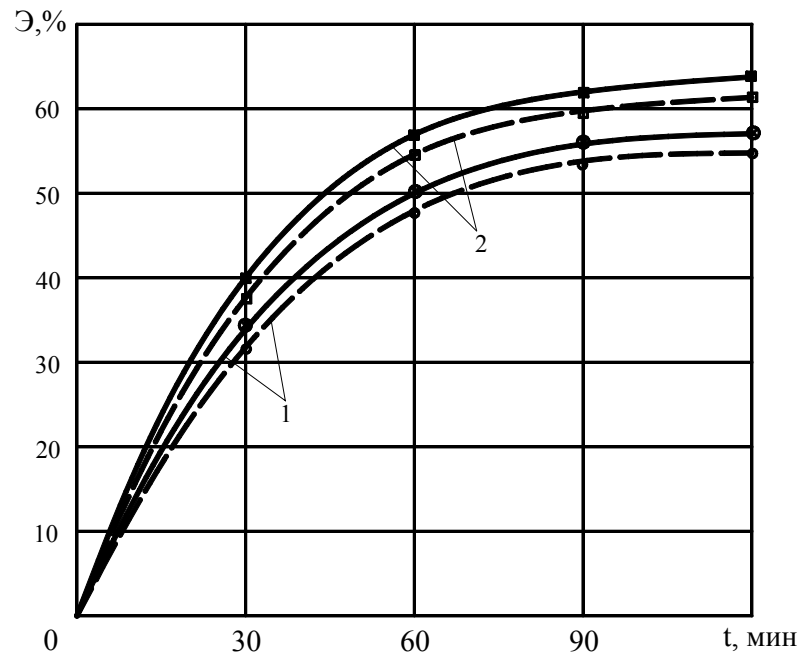


Рис. 2. Зависимость эффекта осветления сточных вод от продолжительности первичного отстаивания с преаэрацией стоков на затопленной загрузке с $F_{уд}=20 \text{ м}^2/\text{м}^3$ в течение 30 минут:

1 – при $\omega = 2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; 2 – при $\omega = 5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$;
 — — — для $C_0=90 \text{ мг/л}$; ---- для $C_0=47 \text{ мг/л}$

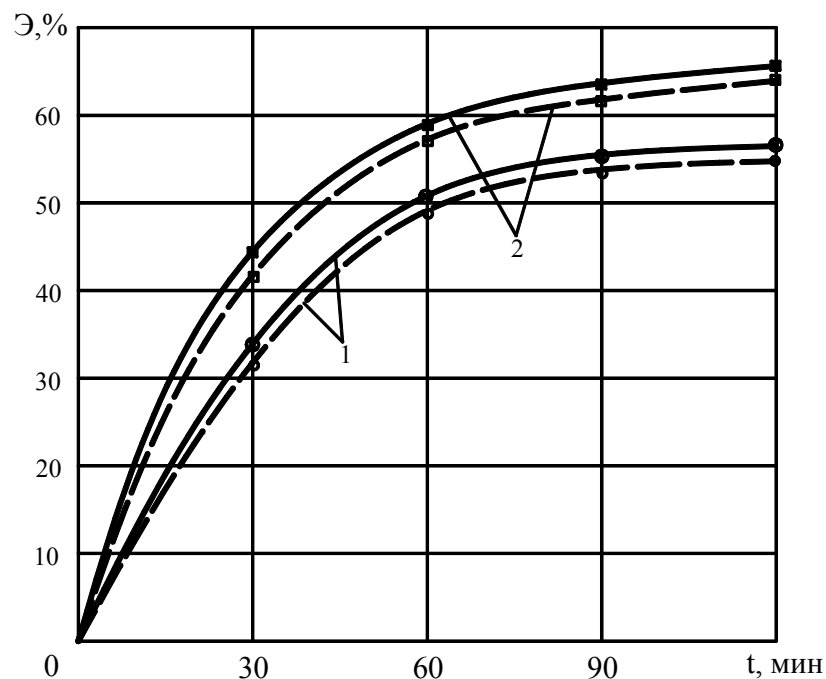


Рис. 3. Зависимость эффекта осветления сточных вод от продолжительности первичного отстаивания с преаэрацией стоков на затопленной загрузке с $F_{уд}=25 \text{ м}^2/\text{м}^3$ в течение 30 минут:

1 – при $\omega = 2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; 2 – при $\omega = 5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$;
 — — — для $C_0=98 \text{ мг/л}$; ---- для $C_0=55 \text{ мг/л}$

Небольшая разница эффектов осветления при $F_{уд}=20 \text{ м}^2/\text{м}^3$ и $F_{уд}=25 \text{ м}^2/\text{м}^3$ (не более 1,7 %) позволяет рекомендовать листовую загрузку с удельной площадью $20 \text{ м}^2/\text{м}^3$, как более экономичную, для использования в преаэраторе.

На лабораторной установке также проводились исследования кинетики осветления стоков при удельном расходе воздуха $\omega = 8-10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ с применением плоскостной загрузки. Анализ опытных данных показал, что имеет место незначительное улучшение эффекта осветления стоков по сравнению с экспериментами, проведенными при $\omega = 5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ (в среднем на 2–3 %, в зависимости от удельной поверхности сетчатой загрузки с прикрепленной биопленкой). Так как такое повышение эффекта осветления связано с увеличением мощности компрессора практически в два раза, то для дальнейшего применения могут быть рекомендованы следующие параметры работы преаэратора:

- удельная площадь листовой загрузки – $20 \text{ м}^2/\text{м}^3$;
- интенсивность аэрации – $5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$;
- время аэрации – не менее 30 мин.

Эффективность снятия БПК₅ определялась по формуле

$$\Theta = \frac{\Theta_{\text{и}} - \Theta_{\text{к}}}{\Theta_{\text{и}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $\Theta_{\text{и}}$ и $\Theta_{\text{к}}$ – соответственно значения БПК₅ в исходных и очищенных стоках, мг/л.

Как показали данные лабораторных анализов, при увеличении времени аэрации $t_{\text{аэр}}$ с 30 до 90 мин в преаэраторе с затопленной загрузкой удельной площадью $F_{\text{уд}} = 20 \text{ м}^2/\text{м}^3$ эффект снятия БПК₅ через 120 минут отстаивания увеличивается с 33 до почти 45 % (рис.4), что говорит о начале процесса биохимического окисления органических примесей. При увеличении времени аэрации улучшается также эффект осветления (до 68 % при $t_{\text{аэр}} = 90$ мин). Такой диапазон времени аэрации может наблюдаться на компактных очистных сооружениях, где режим поступления стоков характеризуется высокими значениями коэффициента часовой неравномерности ($K_{\text{н}} = 3$ и более).

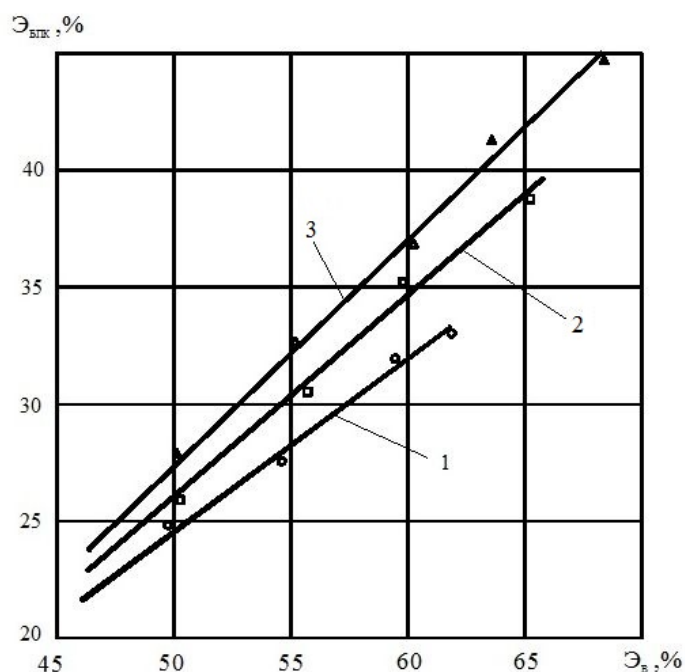


Рис.4. Зависимость эффектов осветления и снятия БПК₅ для сточных вод с $C_0 = 90-94 \text{ мг/л}$, предварительно обработанных в преаэраторе с $F_{\text{уд}} = 20 \text{ м}^2/\text{м}^3$ и $\omega = 5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$:

1 – при $t_{\text{аэр}} = 30$ мин; 2 – при $t_{\text{аэр}} = 60$ мин; 3 – при $t_{\text{аэр}} = 90$ мин

ВЫВОДЫ

1. Биокоагуляция взвешенных веществ на плоскостной сетчатой загрузке в преаэраторе позволяет увеличить эффективность первичного отстаивания хозяйственно-бытовых сточных вод на 23-26 % по сравнению с аэрацией без затопленной загрузки.
2. Экспериментально установлены оптимальные значения удельной площади листовой сетчатой загрузки, интенсивности и времени аэрации с учётом технологических и экономических показателей работы преаэратора и первичного отстойника.
3. Использование преаэраторов с плоскостной затопленной загрузкой наиболее целесообразно на компактных очистных установках канализации малых населенных пунктов.

Список литературы

1. Расчёт и проектирование компактных установок для очистки сточных вод локальных объектов / Б.М. Гришин [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 136 с.
2. Гришин, Б.М. Экспериментальные исследования процесса первичного отстаивания сточных вод, предварительно обработанных в преаэраторе / Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, А.О. Абрамова // Приволжский научный вестник. – 2015. – № 3–1 (43). – С. 32–35.
3. Высокоэффективные конструкции аэраторов пневматического типа для биологической очистки сточных вод / С.Ю. Андреев [и др.]. – Деп. в ВИНТИ, №1891-В2004. – М., 2004. – 120 с.

References

1. Calculation and design of compact plants for local objects waste water purification / B.M.Grishin [etc.]. – Penza: PSUAC, 2011. – 136 p.
2. B.M. Grishin, B.M. Experimental investigations of primary setting of waste water, preliminary treated in preaerator / B.M.Grishin, M.V.Bikunova, A.O. Abramova // Volga scientific herald. – 2015. – N3–1(43). – P.32–35.
3. Highly effecient constructions of pneumatic aerators for waste water biological purification / S.Yu. Andreev [etc.]. – Dep. in VINITI, N1891. – В 2004. – М., 2004. – 120 p.

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

Гришин Борис Михайлович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
E-mail: bgrishin@rambler.ru

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

Ласьков Николай Николаевич,
доктор технических наук, зав. кафедрой
«Строительные конструкции»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Шеин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Механика»
E-mail: shein-ai@yandex.ru

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

Grishin Boris Mikhailovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

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

Laskov Nikolay Nikolaevich,
Doctor of Sciences, Head of the Department
«Building constructions»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Shein Alexander Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the Department «Mechanics»
E-mail: shein-ai@yandex.ru

КИНЕТИКА КОАГУЛЯЦИИ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРУПНОЗЕРНИСТОЙ КОНТАКТНОЙ ЗАГРУЗКИ

Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, Н.Н. Ласьков, А.И. Шеин

Дается анализ кинетики процесса коагуляции природной воды в слое крупнозернистой контактной загрузки. Проведена оценка влияния различных факторов на степень укрупнения микрохлопьев скоагулированной взвеси в толще контактной массы. На основании результатов выполненных исследований предложена схема коагуляционной обработки воды в смесителях станций водоподготовки с применением контактных камер с крупнозернистой загрузкой.

Ключевые слова: природная вода, контактная коагуляция, крупнозернистая загрузка, градиент скорости, контактная камера

KINETICS OF WATER IMPURITIES COAGULATION USING COARSE GRAIN CONTACT BED

B.M. Grishin, M.V. Bikunova, N.N. Laskov, A.I. Shein

Kinetics analysis is provided for the process of nature water coagulation in the layer of coarse grain contact bed. Various factors influence on micro-flakes coagulated suspension growth within contact mass has been assessed. Based on the conducted research, the scheme of water coagulation treatment in the mixers at water conditioning stations using contact chambers with coarse grain bed is proposed.

Keywords: natural water, contact coagulation, coarse grain bed, velocity gradient, contact chamber

Контактная коагуляция является широко применяемым технологическим процессом при очистке природных вод поверхностных источников. Для осуществления данного процесса используются, как правило, контактные осветлители и реакторы-осветлители [1, 2], где коагуляция примесей происходит одновременно с их задерж-

жанием в толще контактной загрузки при ламинарном режиме фильтрования и низкой удельной нагрузке по расходу на 1 м² площади сооружения. Контактная коагуляция может применяться в смесительных устройствах водопроводных очистных сооружений для повышения эффективности работы осветлительных сооружений. Бабенковым Е.Д. была предложена и исследована конструкция вертикального смесителя со взвешенным слоем кварцевого песка, использование которого при водоподготовке позволило улучшить эффективность последующей очистки воды в осветлителях.

Недостатком смесителей со взвешенным слоем мелкозернистого материала является высокая вероятность выноса контактной массы при увеличении расхода обрабатываемой природной воды и возможное засорение отводящего трубопровода смесителя.

Осуществлять контактную коагуляцию с высокими скоростями движения воды в турбулентном режиме фильтрования возможно при использовании в смесительных устройствах контактных камер с крупнозернистой загрузкой ($d \geq 10$ мм), обладающей низким гидравлическим сопротивлением [3, 4, 5]. При турбулентном фильтровании обработанной коагулянтom загрязнённой воды сопротивление контактной крупнозернистой загрузки вначале растёт, а потом стабилизируется и в дальнейшем не изменяется, что соответствует состоянию предельной насыщенности порового пространства загрузки отложениями (осадком). Экспериментальные исследования [6] показали, что при фильтровании природной воды, обработанной коагулянтom, через грубозернистую контактную массу в условиях предельного насыщения порового пространства загрязнениями (осадком) концентрация C_1 микрохлопьев в воде, поступающей на слой контактной загрузки, равна концентрации C_2 хлопьев на выходе из него (рис.1). Размеры хлопьев, выносимых из грубозернистого слоя, находящегося в контактной камере, намного превышают размеры первичных микрохлопьев, образовавшихся в природной воде до начала процесса контактной коагуляции. При попадании микрохлопьев в поровое пространство крупнозернистой загрузки наблюдается их прилипание к зернам загрузки с образованием адсорбционного слоя. Одновременно происходит процесс отрыва более крупных хлопьев от адсорбционного слоя осадка, их перенос в нижележащие слои загрузки и в дальнейшем вынос из контактной камеры.

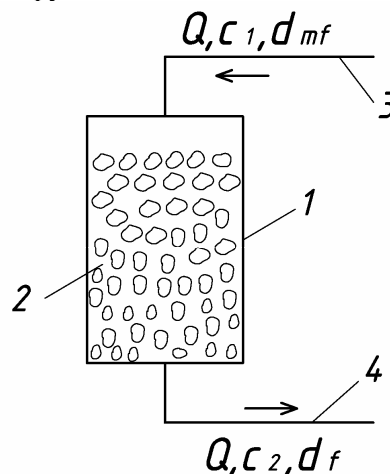


Рис. 1. Схема контактной камеры с крупнозернистой загрузкой:
1 – корпус камеры; 2 – крупнозернистая загрузка (контактная масса);
3, 4 – подача и отвод воды, обработанной коагулянтom

Между параметрами микрохлопьев, входящих в слой контактной массы, и хлопьев, выходящих из него, существует соотношение (см. рис. 1)

$$n_2 = \frac{\rho_1 \cdot n_1}{\rho_2} \left(\frac{d_{mf}}{d_f} \right)^3 = \frac{n_1}{\alpha_f} \left(\frac{d_{mf}}{d_f} \right)^3, \quad (1)$$

где ρ_1 , n_1 и ρ_2 , n_2 – соответственно плотности и численные концентрации микрохлопьев в воде, поступающей на зернистый слой, и хлопьев, образующихся после контактной коагуляции; d_{mf} – диаметр микрохлопьев в коагулированной воде до начала процесса контактной коагуляции; d_f – диаметр хлопьев, находящихся в воде на выходе из контактного слоя; α_f – коэффициент, характеризующий степень уплотнения микрохлопьев, $\alpha_f = \frac{\rho_2}{\rho_1}$. Коэффициент α_f в общем случае является функцией времени

t контакта хлопьев с зернистой загрузкой, т.е. $\alpha_f = f(t)$.

Справедливо:

$$\frac{n_1}{n_2} = \alpha_f \left(\frac{d_f}{d_{mf}} \right)^3. \quad (2)$$

Бабенков Е.Д. на основании анализа уравнений кинетики коагуляции предложил соотношение для определения среднего диаметра образующихся хлопьев

$$d_f = \frac{\sqrt[6]{k_1 n_1 \cdot n_l^{0,17}}}{G^{0,17} \cdot \Phi^{0,33}} \cdot d_{mf}, \quad (3)$$

где k_1 – константа, характеризующая отношение интенсивности прилипания и отрыва микрохлопьев; G – градиент скорости перемешивания; n_l – осреднённое количество первичных частиц гидролиза коагулянта в микрохлопьях скоагулированной взвеси, влияющее на крупность агрегата; Φ – объемное содержание твёрдой фазы в агрегатах скоагулированной взвеси.

В соответствии с (3) приближенно будем иметь:

$$\left(\frac{d_f}{d_{mf}} \right)^3 = \frac{\sqrt{k_1 n_1 n_l}}{G^{0,5} \Phi}. \quad (4)$$

Подставив (4) в (2), получим:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\alpha_f \sqrt{k_1 n_1 n_l}}{G^{0,5} \Phi}. \quad (5)$$

При минимальном времени контакта плотности хлопьев и микрохлопьев будут равны ($\rho_1 = \rho_2$) и в формуле (2) $\alpha_f = 1$. В этом случае формулу (5) можно записать в виде

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sqrt{k_1 n_1 n_l}}{G^{0,5} \Phi}. \quad (6)$$

Бабенковым Е.Д. даётся зависимость $\Phi = f(G)$, удовлетворительно соответствующая уравнению

$$\Phi = \beta_f \cdot G^x, \quad (7)$$

где β_f – константа; x – показатель степени, изменяющийся от 0,43 до 0,67 при увеличении градиента скорости.

При $x=0,5$ из (5) и (7) получим:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\alpha_f \sqrt{k_1 n_1 n_l}}{\beta_f G}. \quad (8)$$

Как видим, эффективность коагуляции, определяемая степенью укрупнения микрохлопьев, прямо пропорциональна их первоначальному количеству (концентрации) и

размеру в исходной воде в степени 0,5, а также обратно пропорциональна градиенту скорости в первой степени. Что касается зависимости $\frac{n_1}{n_2} = f(\Phi)$, то в случае кон-

тактной коагуляции она не является однозначной и определяется физическими свойствами осадка в порах контактной массы. При фильтровании обработанной коагулянт-ом воды через зернистую загрузку градиент скорости может быть определён с помощью зависимости

$$G^2 = \frac{\rho \cdot g \cdot \Delta h}{t \cdot \nu}, \text{ с}^{-2}, \quad (9)$$

где Δh – потери напора в зернистом слое, м; t – время контакта воды с зернистой загрузкой, с; ν – кинематический коэффициент вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$.

Потери напора в зернистом слое находятся из выражения

$$\Delta h = i H_3, \quad (10)$$

где ψ – коэффициент сопротивления зернистой загрузки, $\text{м}^3/\text{с}$; R – гидравлический радиус зернистой загрузки, м; H_3 – высота слоя загрузки, м;

Учитывая соотношение

$$\frac{H_3}{t} = \frac{\nu}{m}, \quad (11)$$

где ν – скорость фильтрования, $\text{м}/\text{с}$; m – пористость фильтрующего слоя загрязнённого осадком, выражение (9) для скоростного градиента запишем следующим образом:

$$G = \sqrt{\frac{\rho \cdot \nu \cdot i}{m \cdot \nu}}. \quad (12)$$

Зависимость градиента G от скорости фильтрования при различной крупности зёрен загрузки показана на рис.2.

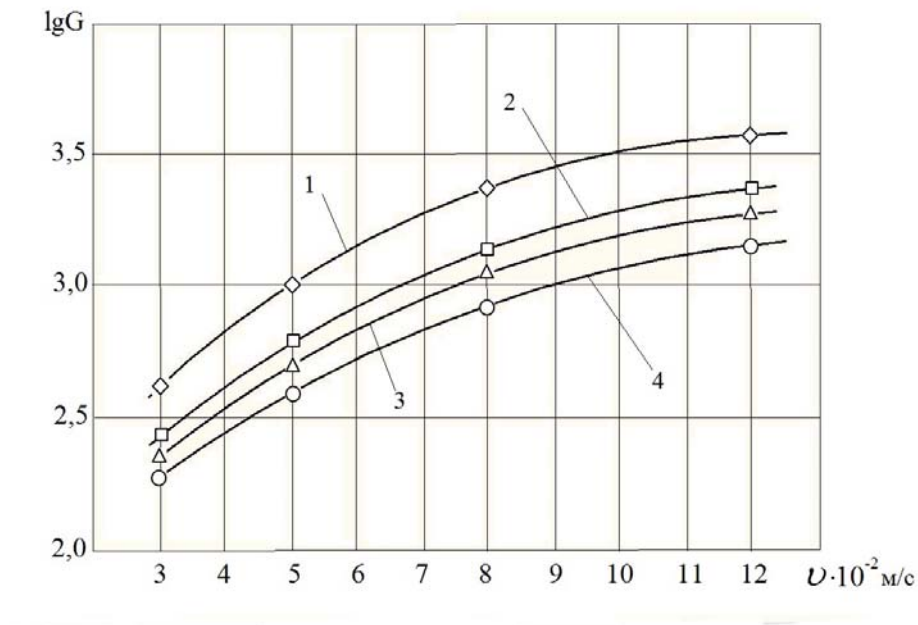


Рис. 2. Зависимость градиента G от скорости фильтрования при крупности загрузки контактной камеры:
1 – 10 мм, 2 – 30 мм, 3 – 40 мм, 4 – 50 мм

Подставив значение G из (12) в (8), получим:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\alpha_f}{\beta_f} \cdot \frac{\sqrt{k_1 n_1 n_l \cdot m \cdot v}}{\rho \cdot v \cdot i}. \quad (13)$$

Анализ формулы (13) показывает, что при увеличении скорости фильтрования и гидравлического сопротивления загрузки при $H_3 = \text{const}$ степень укрупнения хлопьев снижается, поэтому верхний предел v при контактной коагуляции должен быть ограничен для каждого конкретного случая по результатам экспериментальных данных.

Время контакта воды с крупнозернистой загрузкой должно быть не ниже заданных минимальных значений, определяемых экспериментально, для обеспечения достаточной степени уплотнения микрохлопьев и, соответственно, увеличения коэффициента α_f в формулах (8) и (13).

Эффективность очистки воды на всех типах водоочистных устройств определяется не только крупностью образующихся коагуляционных структур, но и в значительной степени их прочностью и плотностью. По Е.Д. Бабенкову, зависимость прочности агрегатов скоагулированных примесей P при неизменной дозе коагулянта от градиента скорости имеет общий характер с уравнением (7):

$$P = K_2 \cdot G^y, \quad (14)$$

где K_2 – коэффициент, зависящий от величины d_j ; y – показатель степени, $y=0,56$.

Таким образом, при возрастании градиента скорости G прочность P , а также объемное содержание твердой фазы Φ в хлопьях, образующихся после контактной коагуляции, должны увеличиваться, а их степень укрупнения $\frac{n_1}{n_2}$ уменьшается.

Укрупнения хлопьев при высоких значениях G , очевидно, можно достичь за счёт увеличения количества первичных частиц n_l в микрохлопьях скоагулированной взвеси (см. формулу (7)), например, при использовании приёма рециркуляции коагулируемой воды через зону ввода новых порций коагулянта.

На основании проведённых исследований для интенсификации процесса коагуляции примесей с образованием крупных и прочных агрегатов скоагулированной взвеси предлагается на типовых гидравлических смесителях водоочистных станций дополнительно устраивать контактные камеры с рециркуляцией через них части расхода Q_p коагулируемой воды (рис. 3). Рециркуляционный поток забирается из конечного участка смесителя 2 водоподъемным устройством 4 и подаётся в камеру 5 под напором, достаточным для преодоления гидравлического сопротивления крупнозернистой загрузки.

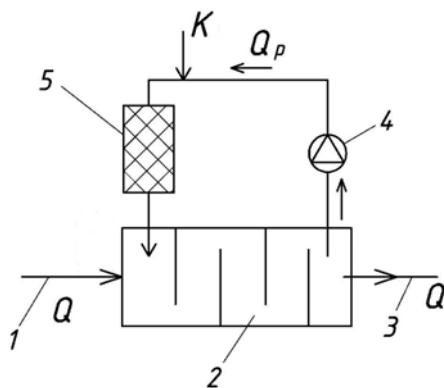


Рис. 3. Схема коагуляционной обработки воды с применением контактной камеры:
1 – подача исходной воды; 2 – типового смесителя; 3 – отвод обработанной воды на осветление;
4 – водоподъемное устройство; 5 – контактная камера с крупнозернистой загрузкой;
K – ввод раствора коагулянта

Ввод раствора коагулянта можно осуществлять в рециркуляционный трубопровод перед контактной камерой. В этом случае будет реализован способ концентрированного коагулирования, позволяющий дополнительно увеличивать размер хлопьев скоагулированных примесей перед коагуляцией. Соотношение расходов $\frac{Q_p}{Q}$, а также

конструктивные характеристики контактных камер с крупнозернистой загрузкой должны устанавливаться экспериментальным путём. Предлагаемая схема реагентной обработки природной воды позволит снизить расход коагулянта за счёт его концентрированного ввода и эффекта контактной коагуляции, а также уменьшить зависимость процесса агломерации примесей от щелочности, pH и температуры воды.

ВЫВОДЫ

1. Получены аналитические зависимости, позволяющие оценить влияние различных факторов на степень укрупнения микрохлопьев, образующихся в толще крупнозернистой загрузки после ввода коагулянта.

2. Для оценки интенсивности процесса коагуляции получены значения градиента скорости перемешивания в зависимости от скорости фильтрования коагулированной воды в крупнозернистой загрузке.

3. Предложена схема коагуляционной обработки природной воды с применением контактной камеры с крупнозернистой загрузкой, которая рекомендована для интенсификации работы типовых гидравлических смесителей водопроводных очистных сооружений и снижения требуемых доз коагулянта.

Список литературы

1. Фрог, Б.Н. Водоподготовка / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. – М.: Изд-во МГУ, 2003.
2. Сколубович, Ю.Л. Повышение эффективности работы водопроводных станций / Ю.Л. Сколубович, Е.Л. Войтов, А.М. Никитин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – №2. – С. 21–25.
3. Гришин, Б.М. Закономерности изменения гидравлического сопротивления крупнозернистой контактной загрузки при фильтровании водной суспензии / Б.М. Гришин, С.Ю. Андреев, С.М. Салмин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №3. – С.121–127.
4. Гидравлические характеристики крупнозернистой загрузки контактных камер коагуляции / Б.М. Гришин [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №3. – С. 125–130.
5. Гришин, Б.М. Использование крупнозернистой контактной загрузки для интенсификации процессов коагуляции примесей природных вод / Б.М. Гришин, А.Н. Кошев, С.М. Салмин // Проблемы энергосбережения в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах: сб. тр. XIV Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: ПГУАС, 2013. – С.72–75.
6. Грабовский, А.П. Математическая модель коагуляции и регенерации крупнозернистых слоёв малой толщины / А.П. Грабовский, В.И. Прогульный // Химия и технология воды. – 1990. – Т. 12, №6.

References

1. Frog, B. N. Water treatment / B. N. Frog, A. P. Levchenko. – M.: Publishing house MSU, 2003.
2. Skolubovich, Yu.L. Increasing of water purification works effectivity / Yu.L. Skolubovich, E.L. Voitov, A.M. Nikitin // Water supply and sanitary equipment. –2011. –N2. – P. 21–25.
3. Grishin, B.M. Conformities of large granular contact load hydraulic resistance change under water suspension filtration / B.M. Grishin, S.Yu. Andreev, S.M. Salmin // Regional architecture and engineering. – 2013. – N3. – P. 121–127.

4. Hydraulic characteristics for large grain loading of contact coagulation chambers // B.M.Grishin [etc.] // Regional architecture and engineering. – 2016. – N3. – P. 125–130.
5. Grishin, B.M. Application of large grain contact load for nature water impurity coagulation processes intensification /B.M. Grishin, A.N. Koshev, S.M. Salmin // Collected transactions of XIV International scientific –practical conference «Problems of energy economy in industrial and housing – municipal complexes». – Penza: PSUAC, 2013. – P. 72–75.
6. Grabovsky, A.P. Mathematical model of large grain thin layers mud grouting and regeneration / A.P. Grabovsky, V.I Progulny // Chemistry and water technology. – 1990. – V. 12, N6.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Кузина Валентина Владимировна,
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: kuzina@pguas.ru

Кошев Александр Николаевич,
доктор химических наук, профессор,
советник РААСН, действительный член
Нью-Йоркской академии наук и Академии
информатизации образования, профессор
кафедры «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: koshev@pguas.ru

Университет Сан-Паулу, Бразилия

Кошев Николай Александрович,
кандидат технических наук
E-mail: nikolay.koshev@gnail.com

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Kuzina Valentina Vladimirovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Information and
computing systems»
E-mail: kuzina@pguas.ru

Koshev Alexander Nikolaevich,
Doctor of Chemistry Science, Professor,
Adviser of the Russian Academy of
Architectural and Building the full member of
the New York Academy of Sciences and
Academy of information of education,
Professor of the department «Information and
computing systems»
E-mail: koshev@pguas.ru

*University of Sao-Paulo, ICMC, Sao Carlos,
SP, Brasil*

Koshev Nikolay Alexandrovich,
Candidate of Sciences
E-mail: nikolay.koshev@gnail.com

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИ РЕШЕНИИ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОНЦЕНТРАЦИЙ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

В.В. Кузина, А.Н. Кошев, Н.А. Кошев

Приведен метод решения обратной задачи по определению остаточных концентраций металлов в водных растворах электролитов. На основе разработанного компьютерного пакета программ проведены вычислительные эксперименты по математическому моделированию вольтамперной зависимости. Дано описание пакета программ.

Ключевые слова: водный раствор электролита, обратная задача определения концентрации металлов, вычислительный эксперимент, математическое моделирование

COMPUTATIONAL EXPERIMENT WHILE SOLVING THE INVERSE PROBLEMS TO DETERMINE THE CONCENTRATIONS OF METALS IN AQUEOUS ELECTROLYTE SOLUTIONS

V.V. Kuzina, A.N. Koshev, N.A. Koshev

The solution of the inverse problem for the determination of the concentration of metals in aqueous solutions of electrolytes is given. On the basis of the developed computer programs computational experiments on mathematical modeling of current-voltage dependence are held. The description of programs is presented.

Keywords: aqueous electrolyte solution, the inverse problem of determination of metal concentrations, computing experiment, mathematical modeling

Цель эксперимента – анализ и развитие методов определения концентраций электролитов и других электрохимических параметров при вольтамперометрических исследованиях на основе математической обработки вольтамперометрической кривой – экспериментально полученной кривой зависимости «ток – потенциал» [1, 2, 3].

Такие задачи относятся к обратным задачам по восстановлению электрохимических параметров и концентраций электроактивных компонентов многокомпонентного водного электролита.

Рассмотрим ряд методов для определения электрохимических параметров процесса вольтамперометрии, основанных на аппроксимации кривой некоторыми функциями: кусочно-линейными и полиномиальными.

Решение задачи диффузии на соответствующем классе функций дает возможность получить несколько полуаналитических решений прямой задачи вольтамперометрии – моделирование кривых. На основе этого можно решить обратную задачу по восстановлению параметров электрохимической системы путем минимизации невязки (погрешности) между смоделированной кривой и экспериментальной.

Для моделирования процессов в простом водном поликомпонентном электролите, содержащем n электроактивных веществ, принимающих участие в электродной реакции, будем использовать численный полуаналитический метод решения краевой задачи для уравнения диффузии [4, 5, 6]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C^k}{\partial t} &= D_k \frac{\partial^2 C^k}{\partial x^2}, \\ C^k(x, 0) &= C_0^k, \quad C^k(\delta_k, t) = C_0^k, \quad \frac{\partial C^k}{\partial x}(0, t) = \frac{i^k(t)}{Z_k F D_k}, \\ i(t) &= \sum_{k=1}^K i^k(t) \quad t \in [0, T], \quad x \in [0, \delta], \quad k = 0, 1, \dots, K-1, \end{aligned} \quad (1)$$

где индекс $k = 1, 2, \dots, K-1$ – порядковый номер электроактивного компонента водного электролита; $C^k(x, t)$ – концентрация k -го компонента в растворе электролита; $i^k(t) \in L^2(0, T)$ – плотность парциального тока k -го компонента; $i(t) \in L^2(0, T)$ – общая плотность тока системы; D_k, Z_k – электрохимические константы, соответствующие k -му компоненту; δ_k – толщина диффузионного слоя для k -го компонента; C_0^k – его концентрация вне диффузионного слоя; T – время окончания наблюдения за процессом.

Таким образом, задача состоит в том, чтобы по заданным электрохимическим параметрам и кривой ток – потенциал определить такие значения концентраций электроактивных компонентов C_{k0} , чтобы теоретическая и экспериментальная кривые

были наиболее близки друг к другу, то есть $\sum_{j=1}^m [i(\tau_j) - i_j]^2 \rightarrow \min_{C_{k0}}$. Здесь $i(\tau_j)$ – значения плотностей тока, полученные из теоретической зависимости, а i_j – экспериментальные значения, вычисленные и наблюдаемые в одних и тех же временных точках τ_j .

$$S\left(\frac{1}{C_0^1}, \dots, \frac{1}{C_0^K}\right) = \sum_{j=1}^m \left\{ \sum_{k=1}^n i_{k0} \left[\frac{C^k(0, \tau_j)}{C_0^k} \exp\left(\frac{\alpha_k Z_k F}{RT} (E(\tau_j) - E_0^k)\right) - \exp\left(\frac{(\alpha_k - 1) Z_k F}{RT} (E(\tau_j) - E_0^k)\right) \right] - i_j \right\} \rightarrow \min_{C_0^k}.$$

Согласно [2], парциальные плотности тока могут быть рассчитаны с использованием выражения

$$i^k(t) = i^{k0} \left(\frac{C^k(0,t)}{C_0^k} e^{\frac{\alpha_k Z_k F}{RT} (E(t) - E_0^k)} - e^{\frac{(\alpha_k - 1) Z_k F}{RT} (E(t) - E_0^k)} \right), \quad (2)$$

где $E(t)$ – потенциал системы; E_0^k – пороговый потенциал; i^{k0} , E_0^k , α_k , Z_k – электрохимические константы, характеризующие k -й компонент.

Для краткости записи введем следующие обозначения:

$$N^k(t) = e^{\frac{\alpha_k Z_k F}{RT} (E(t) - E_0^k)}, \quad R^k(t) = e^{\frac{(\alpha_k - 1) Z_k F}{RT} (E(t) - E_0^k)}. \quad (3)$$

С учетом данных обозначений выражение (2) примет вид:

$$i^k(t) = i_0^k \left(\frac{C^k(0,t)}{C_0^k} N(t) - R(t) \right). \quad (4)$$

Вольтамперная кривая в виде кусочно-линейной зависимости позволяет представить обратную задачу по нахождению C_0^k и других неизвестных электрохимических параметров как систему нелинейных алгебраических уравнений. При этом порядок системы и точность вычислений зависят от количества компонентов электродной реакции и интервалов линеаризации вольтамперометрической кривой.

На основании уравнений (1)–(4) можно выделить две задачи: прямую и обратную. Прямая задача заключается в моделировании вольтамперометрической кривой при условии, что все параметры электрохимической системы известны.

Далее мы полагаем количество неизвестных параметров системы равным для всех компонентов системы – максимальное число полагаем равным пяти для каждого компонента: α_k , D_k , C_0^k , i_0^k , E_0^k .

Обратную задачу по восстановлению параметров электрохимической системы можно решить путем минимизации невязки между смоделированной кривой и экспериментальной.

Значение парциального тока $i^k(t)$ в точке t_l может быть рассчитано с использованием формулы (4):

$$i_l^k = i_0^k \left(\left(1 + \xi \sum_{m=0}^{N-1} i_m \phi_m^k(0, t_l) \right) N_l - R_l \right).$$

Таким образом, задача моделирования вольтамперометрической кривой сводится к задаче расчета массопереноса $C(0, t_l)$. Расчет последней функции может быть произведен с помощью различных методов.

Для реализации описанных выше алгоритмов моделирования и расчета концентраций был разработан программный комплекс. Реализация осуществлялась с использованием языка C++ и свободно распространяемых библиотек QT-4.x и BOOST UBLAS для создания пользовательского интерфейса и математического наполнения.

Описываемый комплекс включает в себя следующие разделы:

- **libmath** – библиотека, представляющая собой общие математические алгоритмы, не ориентированные на конкретную задачу;
- **libmodelling** – библиотека, содержащая функционал, направленный на решение специфических задач, связанных с описываемой проблемой;
- **QCustomPlot** – свободно распространяемая библиотека, основанная на фреймворке QT-4.x и предназначенная для работы с графиками и кривыми (не является разработкой авторов);

• **интерфейсная часть** – интерфейс программы и ее основная часть, построенные на базе фреймворка QT-4.x.

Приведем описание каждого модуля.

Библиотека **libmath** включает в себя модули: norm, gauss, lagrange и minimizers.

• norm – состоит из заголовочного файла norm.h и файла реализации norm.cpp. Данный модуль содержит функции для вычисления нормы L_2 . В дальнейшем планируется его развитие на прочие нормы.

• gauss – содержит функционал, направленный на решение СЛАУ методом Гаусса (LU-decomposition). Основан на классах *vector* и *matrix* библиотеки BOOST UBLAS. Состоит из заголовочного файла gauss.h и файла реализации gauss.cpp.

• lagrange – содержит функционал для построения аппроксимации непрерывных функций интерполяционными полиномами Лагранжа 1-й, 2-й и $(N-1)$ -й степени (где N – количество узлов сетки).

• minimizers – содержит следующие методы минимизации функционалов: метод золотого сечения (только одномерная минимизация), метод проекций сопряженных градиентов, метод простого спуска и метод Хука и Дживса.

Библиотека **libmodelling** состоит из заголовочного файла modelling.h, содержащего описание всего функционала, и следующих файлов реализации:

• lagrange modelling.cpp – вычисление функций φ для аппроксимации многочленами Лагранжа 2-й степени;

• piecewise linear modelling.cpp – вычисление функций φ^{odd} и φ^{even} для метода, описанного в [7, 8];

• lagrange shared.cpp – обобщенные алгоритмы вычисления φ и универсальная функция для моделирования токов методами, основывающимися на вычислении специальных функций φ . Содержит также алгоритмы вычисления интегралов $B_m^n(t)$, $I_m(t)$, $J_m^n(t)$ для различных вариантов аппроксимации вольтамперометрической кривой;

• numerical modelling.cpp – моделирование вольтамперометрической кривой путем прямого численного решения уравнения диффузии с использованием неявных разностных схем;

• stationary modelling – функции для моделирования вольтамперометрической кривой путем решения квазистационарного уравнения диффузии;

• share modelling.cpp – общие функции (вычисление $R(t)$, $N(t)$, добавление белого шума в модель и т.д.)

Описание интерфейса программы

Интерфейс программы содержится в файлах electroKD.h и electroKD.cpp и представлен на рисунке.

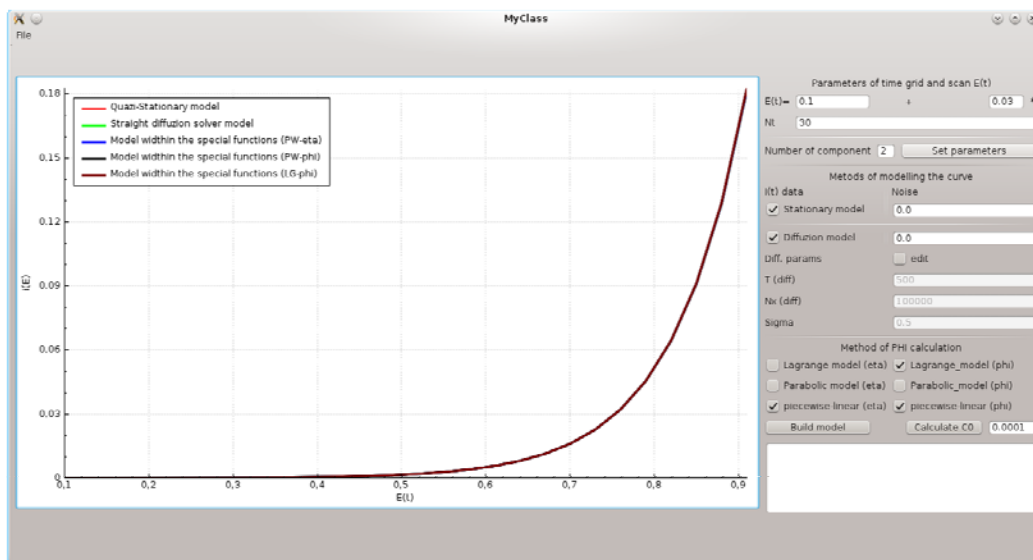
Описание свободно распространяемого класса QCustomPlot здесь не приводится. Его можно найти по адресу: <http://www.qcustomplot.com/>. Описанный программный комплекс является кроссплатформенным и может использоваться в средах MS Windows, Linux/Unix и Mac OS X.

Экранная форма программы состоит из двух частей: правая панель предназначена для ввода исходных данных и содержит кнопки управления, левая – для построения вольтамперометрической кривой.

Программа позволяет выбрать метод расчета (поставить символ $\surd$ в соответствующем окошке):

- 1) Stationary model – квазистационарный метод;
- 2) Diffuzion model – прямой численный метод с использованием конечно-разностной схемы для решения уравнений диффузии;
- 3) Method of PHI calculation – полуаналитический метод:
 - для однокомпонентного состава электролита ($k = 1$):
 - Lagrange model (eta) – аппроксимация методом Лагранжа;

- Parabolic model (η) – параболическая аппроксимация;
 Piecewise-linear (η) – кусочно-линейная аппроксимация;
 • для многокомпонентного состава электролита ($k > 1$):
 Lagrange model (ϕ) – аппроксимация методом Лагранжа;
 Parabolic model (ϕ) – параболическая аппроксимация;
 Piecewise-linear (ϕ) – кусочно-линейная аппроксимация.



Экранная форма для работы с программой

Для каждого компонента вводятся в специальные окошки свои параметры и устанавливаются нажатием кнопки «Set parameters».

Имеются некоторые введенные значения (по умолчанию): Z , C_0 и другие электрохимические константы.

Входными данными являются параметры экспериментальной кривой, которые загружаются из файла с расширением .dat (создается заранее в программе Блокнот). Файл содержит две строки: в первой задаются значения развертки потенциала для n точек, например, для приведенного на рисунке примера сетка по времени содержит 30 точек ($Nt = 30$) в диапазоне от $E_0 = 0,1$ с шагом 0,03 (узлы аппроксимации), во второй – значения плотности тока $i(E)$ в узлах сетки.

Меню «File» (кнопка в левом верхнем углу экрана) содержит команды: «Load Image» для загрузки экспериментальной кривой, «Save Image» для сохранения экспериментальной кривой, «Save Table» для сохранения таблицы данных.

Имеется кнопка «Clear graphs» для очистки экрана – сброса предыдущих параметров.

После выбора модели расчета задать точность расчета «Calculate CO» и нажать ее.

После расчета нажатие кнопки «Build model» приведет к построению на экране графиков экспериментальной и смоделированной кривых.

Представленные на рисунке графики, полученные при решении квазистационарного уравнения диффузии при помощи кусочно-линейной аппроксимации и аппроксимации Лагранжа, практически совпали.

Список литературы

1. Кузина, В.В. Математические модели в задачах вольтамперометрического анализа / В.В. Кузина, А.П. Замятин, А.Н. Кошев // Экологические системы и приборы. – М.: Научтехлитиздат, 2006. – № 8. – С. 37–41.

2. Кошев, А.Н. Разработка и исследование математических моделей нестационарных процессов в электрохимических реакторах с проточными трехмерными электродами: монография / А.Н. Кошев, В.В. Кузина. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 119 с.
3. Кошев, А.Н. Моделирование и расчет концентрации электроактивного компонента в процессе электролиза / А.Н. Кошев, В.В. Кузина // Управление большими системами. – М.: ИПУ РАН, 2011. – Вып. 33. – С. 233–253.
4. Кузина, В.В. Математическая обработка вольтамперной кривой как метод расчета электрохимических параметров в поликомпонентном растворе / В.В. Кузина, А.Н. Кошев // Информационные системы и модели в научных исследованиях, промышленности, образовании и экологии: доклады X Всероссийской научно-технической конференции. – Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2012. – С. 17–23.
5. Koshev, N. On the solution of forward and inverse problems of voltammetry / N. Koshev. // Inverse Problems and Applications, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, 120, DOI 10.1007/978-3-319-12499-5il, pp. 153-164, 2015.
6. Koshev, N. Voltammetry: Mathematical modeling and Inverse Problem / N. Koshev, A. Koshev, V. Kuzina. // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 157, DOI 10.1016/j.chemolab.2016.06.022, pp. 78-84, 2016.
7. Будак, Б.М. Сборник задач по математической физике / Б.М. Будак, А.А. Самарский, А.Н. Тихонов. – 4-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 688 с.
8. Richard G Compton, Craig E Banks Understanding Voltairmetry (2Nd Edition). Icp; November 15, 2010.

References

1. Kuzina, V.V. Mathematical models in the voltammetric analysis / V.V. Kuzina, A.P. Zamyatin, A.N. Koshev // Environmental systems and devices. – М.: Nauchtehlitizdat, 2006. – № 8. – P. 37–41.
2. Koshev, A.N. Development and research of mathematical models of non-stationary processes in electrochemical reactors with flow-through three-dimensional electrodes: monograph / A.N. Koshev, V.V. Kuzina. – Penza: PGUAS, 2011. – 119 p.
3. Koshev, A.N. Modelling and calculation of electro-active component concentration in the process of electrolysis / A.N. Koshev, V.V. Kuzina // Large-scale Systems Control. – 2011. – Vol. 33. – P. 233–253.
4. Kuzina, V.V. The mathematical processing of voltammetric curve as the method of calculation of electrochemical parameters in a multicomponent solution / V.V. Kuzina, A.N. Koshev // Information systems and models in research, industry, education and the environment: reports of the X all-Russian scientific-technical conference. – Tula: «Innovative technologies», 2012. – P. 17–23.
5. Koshev, N. On the solution of forward and inverse problems of voltammetry / N. Koshev // Inverse Problems and Applications, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, 120, DOI 10.1007/978-3-319-12499-5il, 2015, pp. 153-164.
6. Koshev, N. Voltammetry: Mathematical modeling and Inverse Problem / N. Koshev, A. Koshev, V. Kuzina // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 157, DOI 10.1016/j.chemolab.2016.06.022, pp. 78-84, 2016.
7. Budak, B.M. Collection of problems on mathematical physics / B.M. Budak, A.A. Samarskii, A.N. Tikhonov. – 4th edition, revised. – М.: FIZMATLIT, 2004. – 688 p.
8. Richard G Compton, Craig E Banks. Understanding Voltairmetry (2Nd Edition). Icp; November 15, 2010.

УДК: 697.1

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Королева Тамара Ивановна,
кандидат экономических наук,
профессор кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: korolevatamara@gmail.ru

Аржаева Наталья Владимировна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: summer981@yandex.ru

Тараканов Олег Вячеславович,
доктор технических наук, профессор,
декан факультета управления территориями
E-mail: zig@pguas.ru

Ивашенко Никита Юрьевич,
аспирант кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: dnib@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Koroleva Tamara Ivanovna,
Candidate of Economic Sciences, Professor
of the department «Heat, gas supply and
ventilation»
E-mail: korolevatamara@gmail.ru

Arzhaeva Natalia Vladimirovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Heat, gas supply and
ventilation»
E-mail: summer981@yandex.ru

Tharakanov Oleg Vyacheslavovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Dean of the Faculty of Management
E-mail: zig@pguas.ru

Ivashchenko Nikita Yurievich
Postgraduate student of the department «Heat,
gas supply and ventilation»
E-mail: dnib@mail.ru

ИЗ ОПЫТА РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОТЛОВ НА ОТРАБОТАННОМ МАСЛЕ

Т.И. Королева, Н.В.Аржаева, О.В. Тараканов, Н.Ю.Ивашенко

Рассматривается опыт реконструкции производственной котельной на базе термомасляных котлов, которые являются новинкой в сфере отопительного оборудования и технологий. Уникальность такой котельной заключается в инновационном термомасляном теплоносителе, который выглядит достойной заменой водяному пару. Приведены достоинства и недостатки котлов на отработанном масле. Выполнен сравнительный расчет расхода топлива производственной котельной, определены экономический эффект от использования маслогенераторов и срок окупаемости затрат на внедрение таких технологий.

Ключевые слова: теплогенерирующая установка, маслогенераторы, термомасляный теплоноситель, реконструкция, повышение эффективности, экономия природного газа

FROM THE EXPERIENCE OF RECONSTRUCTION OF INDUSTRIAL HEAT TRANSFER INSTALLATION USING BOILERS ON WASTE OIL

T.I. Koroleva, N.V.Arzhaeva, O.V.Tharakanov, N. U. Ivashchenko

Experience of reconstruction of an industrial boiler based on thermal oil coppers, which is a novelty in the sphere of heating equipment and technologies is presented. The uniqueness of this boiler lies in the innovative termooil heat carrier which is a decent substitute for water vapour. The advantages and disadvantages of boilers on waste oil are given. Contrastive calculation of fuel consumption of an industrial boiler is made, the economic effect of using heat transfer oil generators and payback of implementation of such technologies is calculated.

Keywords: heat transfer installation, heat transfer oil generator, heat oil coolant, reconstruction, improving efficiency, economy of natural gas

На кафедре «Теплогазоснабжение и вентиляция» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства был разработан проект реконструкции котельной для теплоснабжения базы оборудования в г. Заречный, Пензенской области (Площадка №2).

В данном проекте разработана тепловая схема теплогенерирующей установки, выполнен ее расчет. Исходными данными послужили:

- техническое задание на проектирование;
- существующее положение источника тепла производственной базы;
- действующие нормативные документы в области теплоснабжения, газораспределения и газопотребления.

Суммарная тепловая нагрузка составляет 1,8 МВт.

Расход природного газа котельной – 2096 тыс.м³/год.

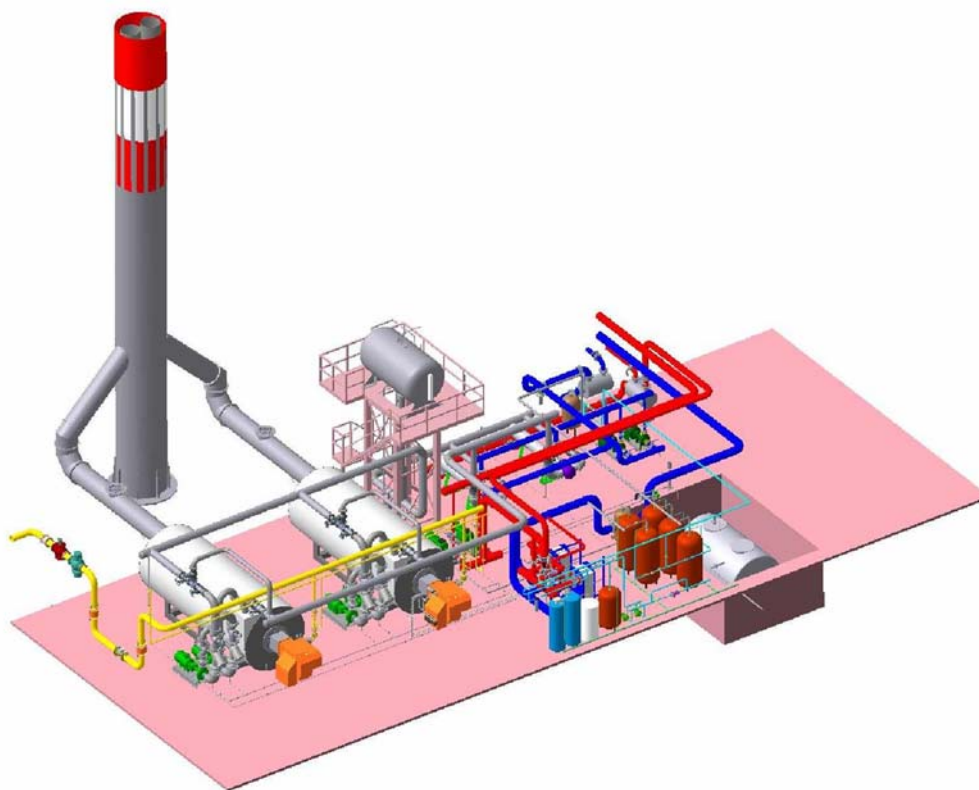


Рис. 1. Общий вид компоновки котельной производственной базы

Котельная имеет внутренний (первичный) контур, в котором теплоноситель в виде диатермического минерального масла циркулирует непосредственно через котлы и нагревается до максимальной температуры 300°C.

В проекте заложен принцип блочности и комплектной поставки на строительную площадку здания оборудования серийного заводского изготовления и блоков, которые должны изготавливать на заводах монтажных организаций.

При разработке тепловой схемы котельной с термическими маслогенераторами учитывался ряд требований, связанных с автоматизацией режимов работы котельной.

Термомасляная котельная в зависимости от ее мощности может быть выполнена в различных вариантах исполнения: блочно-модульная котельная, стационарная котельная, отдельно стоящая или пристроенная, в зависимости от желания заказчика и от условий конкретного предприятия. Котлы на диатермическом масле, как правило, работают на газе (природный газ, сжиженный газ) и на дизельном топливе, возможна установка комбинированных газодизельных горелок. По согласованию с заводом-производителем котельного оборудования возможны использование в виде топлива мазута, а также установка комбинированных газомазутных горелок.

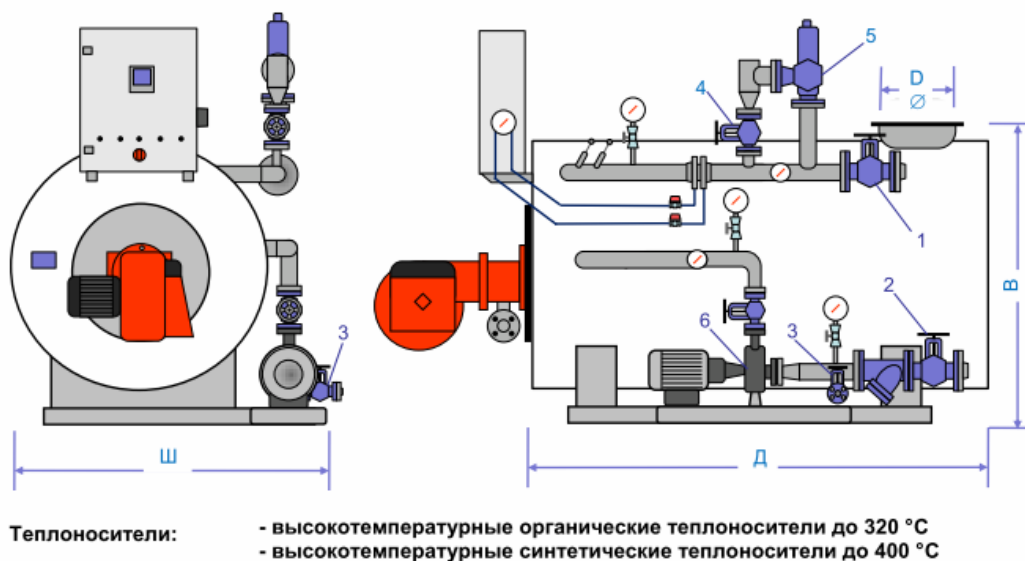


Рис. 2. Внешний вид термомасляного котла:

1 – вентиль прямой линии; 2 – вентиль обратной линии; 3 – дренажный вентиль; 4 – вентиль линии удаления воздуха; 5 – предохранительный клапан; 6 – циркуляционный насос

Термомасляные котлы имеют следующее преимущественное устройство: трёхходовая конструкция топочного пространства; лёгкая, простая конструкция, подлежащая техобслуживанию; полная совместимость с горелками европейского качества; горизонтальное и вертикальное исполнение. Термомасло – это, как правило, минеральное или синтетическое масло, находящееся под высоким давлением для достижения высокой производительности процесса.

Все котельное оборудование и термомасляный котёл проектируются и изготавливаются в соответствии с требованиями стандартов.

Термомасляная котельная полностью укомплектована заводом-изготовителем и готова к установке и эксплуатации. Проектом в ней предусматривается автоматизированный режим работы. Котельная оборудована технологическими средствами защиты для осуществления следующих видов контроля:

- понижения и повышения уровней теплоносителя ниже и выше допустимого;
- увеличения температурных показателей теплоносителя выше допустимых по проекту;
- повышения давления теплоносителя выше проектного;
- достижения минимального значения расхода теплоносителя;
- обеспечения недопустимости снижения разряжения в топочной камере.

В термомасляной котельной используются котлы с многократной принудительной циркуляцией высокотемпературных теплоносителей органических на минеральной и синтетической основе.

Установлена насосная группа для каждого маслогенератора индивидуально, что обеспечивает возможность гибкого регулирования путём отключения маслогенератора вместе с циркуляционным насосом при сохранении гидравлического режима работы остального оборудования.

Подача масла из емкости хранения объемом 10 м³ (120 % от объема системы) [3] в расширительный бак производится с помощью перекачивающего насоса с ручным управлением FM-15. Бак хранения установлен в нижней точке котельного зала, и масло стекает под собственной тяжестью.

Был выполнен гидравлический расчет проектируемого наружного газопровода высокого и среднего давления.

Расчёт произведён по СП 42-101-2003 «Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб» [7].

Для коммерческого учета природного газа запроектирован измерительный комплекс СГ-ЭКВз-Т2-0,2-1600/1,6 на базе турбинного счетчика газа TRZ-G1000 с электронным корректором объема ЕК-260.

Проектом предусмотрены мероприятия по обеспечению безопасной эксплуатации котельной: выполнен расчет вентиляции помещения котельной, площади легкобрасываемых конструкций, рассмотрены мероприятия по предупреждению аварий и ликвидации их последствий, мероприятия по электро-, взрыво- и пожаробезопасности.

Котельные такого типа могут подразделяться по способу отпускаемого тепла (водогрейные, паровые, перегретая вода), по назначению (отопительные, технологические), по виду использованного топлива (газовые, дизельные, газодизельные, мазутные, газомазутные, твердотопливные), по вариантам исполнения (блочно-модульные, крышные, стационарные, пристроенные, встроенные). Цель у котельных всегда одна – это выработка тепла с высокой эффективностью для дальнейшего его использования.

Термомасляные котлы являются новинкой в среде отопительного оборудования и технологий. В таких котлах основным теплоносителем выступает термальное масло. Топливо разогревается до 350 градусов и долго остывает, не подвержено влиянию внешней среды. Основным преимуществом является отсутствие надобности воды для процесса отопления.

Газа для работы такой котельной нужно значительно меньше, чем для работы, например, водогрейной котельной.

Применяемая технология отопления закрытого цикла, без энергетических потерь и издержек. Термомасляные котлы имеют ряд неоспоримых преимуществ:

- низкое давление термального масла в технологическом трубопроводе;
- термомасляный теплоноситель никогда не замёрзнет;
- гарантированное поддержание требуемой температуры теплоносителя;
- термомасляные котельные агрегаты могут быть установлены в горизонтальном и вертикальном положении;
- автоматизированный процесс работы котельной;
- полное отсутствие коррозионных процессов на технологическом трубопроводе;
- возможность подключения разноплановых водогрейных и паровых контуров.

Уникальность такой котельной заключается в инновационном использовании термомасляного теплоносителя, который является достойной заменой водяному пару. Использование пара как теплоносителя очень затратно. Термальное масло как теплоноситель лишено недостатков в эксплуатации.

Сегодня изготовление термомасляных котлов проходит с использованием современного, качественного, высоконадёжного оборудования. В последнее время востребованы котельные термомасляные, использующие нетоксичные нефтяные масла, обладающие повышенной температурной стабильностью, с высокой температурой самовозгорания. Такие котельные являются серьёзным конкурентом паровым котельным, так как позволяют достигать высоких температур с низким расходом рабочих средств.

При осуществлении технико-экономического обоснования с целью выбора оптимального решения для оценки качества проекта котельной, а после пуска в эксплуатацию – для оценки экономической эффективности, технического уровня и эксплуатационных качеств котельной использовалась система технологических и экономических показателей, при этом последние напрямую зависят от технологических.

Произведен расчет основных технико-экономических показателей работы районной котельной на стадии проектирования.

Установленная мощность котельной, МВт, определена по выражению [3]:

$$Q_{\text{уст}} = Q_{\text{ном}} \cdot n = 5,815 \cdot 2 = 11,63 \text{ МВт},$$

где $Q_{\text{ном}}$ – номинальная мощность котлов, МВт; n – количество котлов в котельной, шт.

1. Годовой расход тепла на отопление:

$$Q_0^{\text{год}} = Q_0 \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.о}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о}}} \cdot z \cdot n_0, \text{ Гкал/год, МВт,}$$

где Q_0 – максимальный часовой расход тепла на отопление, Гкал/ч, МВт; $t_{\text{вн}}$ – внутренняя температура воздуха отапливаемых зданий, °С; $t_{\text{ср.о}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период [6], °С; $t_{\text{р.о}}$ – расчетная для систем отопления температура наружного воздуха [6], °С; z – число часов работы системы отопления в сутки; n_0 – продолжительность отопительного периода в сутках [6], °С.

$$Q_0^{\text{год}} = 4,135 \frac{18 - (-4,1)}{18 - (-27)} \cdot 24 \cdot 200 = 9747,6 \text{ Гкал/год.}$$

2. Годовой расход тепла на вентиляцию:

$$Q_{\text{в}}^{\text{год}} = Q_{\text{в}} \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.о}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о}}} \cdot z \cdot n_0, \text{ Гкал/год, МВт,}$$

где $Q_{\text{в}}$ – максимальный часовой расход тепла на вентиляцию, Гкал/ч, МВт.

$$Q_{\text{в}}^{\text{год}} = 4,791 \cdot \frac{18 - (-4,1)}{18 - (-27)} \cdot 8 \cdot 200 = 3764,6 \text{ Гкал/год.}$$

3. Общий годовой расход тепла на отопление, вентиляцию:

$$Q^{\text{год}} = 9747,6 + 3764,6 = 13512,2 \text{ Гкал/год.}$$

То же с учетом потерь тепла в наружных тепловых сетях и собственных нужд котельной (8 %) [1]:

$$Q^{\text{год}} = 13512,2 \times (1 + 0,08) = 14593,2 \text{ Гкал/год.}$$

Расход топлива в условном исчислении составит:

$$B_{\text{общ}}^{\text{год}} = \frac{Q^{\text{год}}}{7000 \cdot \eta},$$

где $Q^{\text{год}}$ – годовой расход тепла, Гкал/год; η – КПД котлов, работающих на природном газе.

$$B_{\text{общ}}^{\text{год}} = \frac{14593,2 \cdot 10^6}{7000 \cdot 0,87 \cdot 10^6} = 2,39 \text{ тыс.тут/год,}$$

или в натуральном исчислении

$$B_{\text{общ}}^{\text{год}} = \frac{14593,2 \cdot 10^6}{8000 \cdot 0,87 \cdot 10^3} = 2096 \text{ тыс.нм}^3/\text{год.}$$

Годовой расход электроэнергии на собственные нужды котельной $\mathcal{E}_{\text{год}}$, кВт·ч/год, напрямую зависит от установленной мощности токоприемников и числа часов их работы:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = N_{\text{уст}} \cdot h_3 = 495,6 \cdot 8400 \cdot 0,7 = 2914,13 \cdot 10^3 (\text{кВт} \cdot \text{ч}) / \text{год.}$$

Установленная мощность токоприемников $N_{\text{уст}}$, кВт, определяется на основе выбора вспомогательного оборудования котельной и электродвигателей к нему, $N_{\text{уст}} = 495,6 \text{ кВт}$.

Годовой расход воды котельной $G_{\text{год}}$, т/год, при закрытой системе теплоснабжения принимается на основании расчета тепловой схемы котельной при максимальных зимнем и летнем режимах работы.

$$\begin{aligned} G_{\text{год}} &= 24 \cdot n_0 \cdot G_{\text{зим}} + 24 \cdot (350 - n_0) \cdot G_{\text{лет}} = \\ &= 24 \cdot 200 \cdot 5,1 \cdot 3,6 + 0 = 88,128 \cdot 10^3 \text{ т/год.} \end{aligned}$$

Удельный расход воды на 1 ГДж отпущенной теплоты, т/ГДж:

$$\bar{G} = G_{\text{год}} / Q_{\text{од}} = 88,128 \cdot 10^3 / 14593,2 = 6 \text{ т/Гкал.}$$

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, используемое для покрытия тепловых нагрузок котельной, зависят от количества израсходованного топлива, его цены, транспортных затрат (обычно входящих в цену) и определяются по выражению

$$T = B_{\text{год}} (1 + \alpha) \cdot \Pi_{\text{т}} = 2096 \cdot 4900 = 10270400 \text{ руб./год,}$$

где α – коэффициент, учитывающий потери топлива при транспортировании его до потребителей. Расходы на электроэнергию на собственные нужды (привод дутьевых вентиляторов, дымососов, насосов) определяются по одноставочному тарифу, так как $N_{\text{уем}} < 750 \text{ кВт}$, для чего используют формулу или выражение

$$\Xi_{\text{л}} = \Xi_{\text{год}} \cdot \Pi_{\text{э}} = 364266 \cdot 5,14 = 1872327 \text{ руб./год.}$$

Годовые затраты на использованную воду определяются по годовому расходу воды на питание котлов, наполнение и подпитку теплоснабжающих систем, горячее водоснабжение:

$$X_{\text{в}} = G_{\text{год}} \cdot \Pi_{\text{в}} = 15600 \cdot 21,17 = 330252 \text{ руб./год.}$$

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) рассчитываются на основе рыночной стоимости 1 МВт котельной:

$$K_{\text{к}} = (\bar{K}_1 Q_{\text{ном}}^{\text{I}} + \bar{K}_2 Q_{\text{ном}}^{\text{II}} (n-1)) \cdot k_{\text{и}} = (1500000 \cdot 5,8 + 1500000 \cdot 5,8(2-1)) = \\ = 17400000 \text{ руб.}$$

Годовые амортизационные отчисления определяются как сумма отчислений от стоимости общестроительных работ и отчислений от стоимости оборудования с монтажом:

$$H_{\text{а}} = (H_{\text{смп}} K_{\text{смп}} / 100) + (H_{\text{об}} K_{\text{об}} / 100) = (3 \cdot 5220000 / 100) + (7,5 \cdot 12180000 / 100) = \\ = 1070100 \text{ руб./год.}$$

Расходы на текущий ремонт включают в себя стоимость ремонта основных фондов, заработную плату ремонтного персонала, стоимость расходных материалов и услуг сторонних организаций. В проектных расчетах затраты на текущий ремонт котельных в среднем принимаются в размере 20 % амортизационных отчислений [2]:

$$P_{\text{т}} = 0,2 H_{\text{а}} = 0,2 \cdot 1070100 = 214020 \text{ руб./год.}$$

Годовой фонд заработной платы определяется через ориентировочный штатный коэффициент $k_{\text{шт}}$, чел./МВт, и среднюю заработную плату одного рабочего, руб./год:

$$З = Q_{\text{уст}} \cdot k_{\text{шт}} \cdot З_{\text{ср}} = 11,63 \cdot 0,7 \cdot 180000 = 1465380 \text{ руб./год.}$$

Прочие суммарные расходы в проектных расчетах принимаются в среднем для котельных в размере 30 % затрат на амортизацию, текущий ремонт и заработную плату [2]:

$$O_{\text{пр}} = 0,3(H_{\text{а}} + P_{\text{т}} + З) = 0,3(1070100 + 214020 + 1465380) = 824850 \text{ руб./год.}$$

Годовые эксплуатационные расходы (общая себестоимость) по котельной определяется по выражению

$$C = T + \Xi_{\text{л}} + X_{\text{в}} + H_{\text{а}} + P_{\text{т}} + З + O_{\text{пр}} = 11108800 + 1872327 + 330252 + \\ + 1070100 + 214020 + 1465380 + 824850 = 16047329 \text{ руб./год.}$$

Себестоимость 1 Гкал отпускаемой теплоты

$$C_k = C / Q_{\text{год}} = 16047329 / 14593,2 = 1099 \text{ руб./Гкал.}$$

С целью сравнения проектируемого и действующего вариантов теплоснабжения производится сопоставление цены на отпускаемую теплоту, т.е. полной себестоимости единицы продукции котельной, с территориальным тарифом. Стоимость отпускаемой потребителям теплоты по г. Пензе на май 2016 г. составляет:

$$C_{\text{ТЭЦ}} = 1534 \text{ руб./Гкал (с учетом НДС).}$$

Приведенные затраты на единицу отпускаемой теплоты (с учетом НДС) в нашем случае

$$\bar{P} = C_k + (E_n + K_k / Q_{\text{год}}) = 1099 + 0,12(17400000 / 14593,2) = 1242 \text{ руб./Гкал.}$$

Для оценки общей эффективности принятого проектного решения определяется рентабельность капиталовложений, которая сопоставляется с отраслевым нормативом P_n . Общая эффективность может считаться приемлемой, если ее величина выше нормативной [2]:

$$P_e = \frac{(C_{\text{ТЭЦ}} - C_k) Q_{\text{год}}}{K_k} 100 = \frac{(1534 - 1099) \cdot 14593,2}{17400000} 100 = 36,48\% > P_n = 10\%.$$

Годовой экономический эффект выявляется как разница между средним тарифом и себестоимостью продукции [4]. В нашем случае стоимость годового отпуска теплоты, руб./год, от проектируемой котельной складывается из себестоимости всей отпускаемой теплоэнергии и доли прибыли, необходимой для развития предприятия. Валовая себестоимость определяется из выражения

$$S_k = \bar{P} Q_{\text{год}} = 1242 \cdot 14593,2 = 18124754 \text{ руб.}$$

Стоимость теплоэнергии по тарифам Пензаэнерго

$$T_{\text{ТЭЦ}} = C_{\text{ТЭЦ}} \cdot Q_{\text{год}} = 1534 \cdot 14593,2 = 22385368 \text{ руб.}$$

В таком случае годовая прибыль (эффект)

$$\text{Пр} = T_{\text{ТЭЦ}} - S_k = 22385368 - 18124754 = 4260614 \text{ руб.}$$

покрывает капиталовложения в новую котельную за срок

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_k}{\text{Пр}} = \frac{17400000}{4260614} = 4,08 \text{ года,}$$

что значительно ниже среднеотраслевого срока эксплуатации котельных.

В ы в о д ы :

1. Проект реконструкции производственной котельной с использованием термомасляных котлов при его внедрении позволит получить годовой экономический эффект 4,26 млн руб. со сроком окупаемости 4 года.

2. Использование термомасляного теплоносителя, обладающего повышенной температурной стабильностью, способствует повышению энергетической эффективности работы котельной и позволяет экономить природный газ.

Список литературы

1. Еремкин, А.И. Тепловой режим здания / А.И. Еремкин, Т.И. Королёва. – Пенза: ПГАСА, 2000. – 365 с.
2. Экономическое обоснование оптимизации теплового режима здания / Т.И. Королёва. – М.: АСВ, 2001. – 144 с.
3. Аржаева, Н.В. Теплогенерирующие установки. Курсовое и дипломное проектирование / Н.В. Аржаева. – Пенза: ПГУАС, 2009. – 130 с.
4. Экономика энергосбережения в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / А.И. Еремкин [и др.]. – М.: АСВ, 2008. – 184 с.
5. СП 24.13330.2011. Тепловые сети.
6. СП 131.13330.2012. Строительная климатология.

7. СП 42-101-2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб.

References

1. Eremkin, A.I. Heat mode / A.I., Eremkin, T.I. Koroleva. – Penza: PGASA, 2008. – 360 p.
2. Economic substantiation of optimisation of thermal regime of the building / T.I. Korolevaю – М.: ACB, 2001. – 144 p.
3. Arzhaeva, N.V. Heat-generating installation. Course and diploma engineering / N.V Arzhaeva. – Penza: PGUAS, 2009. – 130 p.
4. Economics of energy saving in heating, ventilation and air conditioning systems/ A.I. Eremkin [etc.]. – М.: ACB, 2008. – 184 p.
5. SP 24.13330.2011. Heat networks.
6. SP 131.13330.2012. Building climatology.
7. SP 42-101-2003. General provisions for the design and construction of gas distribution systems from metal and polyethylene pipes.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Королева Тамара Ивановна,
кандидат экономических наук,
профессор кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: korolevatamara@gmail.ru

Аржаева Наталья Владимировна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: summer981@yandex.ru

Степанов Сергей Алексеевич,
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры «Физика и химия»

Ивашенко Никита Юрьевич,
аспирант кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: dnib@mail.ru

Чапаева Светлана Игоревна,
студентка 1 курса магистратуры
E-mail: chapaeva.svetlana@yandex.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Koroleva Tamara Ivanovna,
Candidate of Economic Sciences, Professor
of the department «Heat, gas supply and
ventilation»
E-mail: korolevatamara@gmail.ru

Arzhaeva Natalia Vladimirovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Heat, gas supply and
ventilation»
E-mail: summer981@yandex.ru

Stepanov Sergei Alekseevich,
Doctor of Physico-Mathematical Sciences,
Professor of the department «Physics and
chemistry»

Ivashchenko Nikita Yurievich
Postgraduate student of the department «Heat,
gas supply and ventilation»
E-mail: dnib@mail.ru

Chapaeva Svetlana Igorevna,
Undergraduate student
E-mail: chapaeva.svetlana@yandex.ru

ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ УВЯЗКА ДВУХТРУБНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Т.И. Королева, Н.В. Аржаева, С.А. Степанов, Н.Ю. Ивашенко, С.И. Чапаева

Рассмотрены преимущества и недостатки разных схем исполнения водяных двухтрубных систем отопления, выполнен сравнительный анализ гидравлической увязки двухтрубной системы с тупиковым и попутным движением теплоносителя. Приведены особенности гидравлического расчета указанных систем.

Ключевые слова: водяные двухтрубные системы отопления, гидравлический расчет, гидравлическая увязка, регулирование отопительных систем.

HYDRAULIC LINKAGE OF TWO-PIPE HEATING SYSTEMS

T.I. Koroleva, N.V. Arzhaeva, S.A. Stepanov, N.U. Ivashchenko, S.I. Chapaeva

The advantages and disadvantages of different schemes of execution of water heating systems are reviewed. A comparative analysis of the hydraulic two-pipe systems with linking a deadlock and associated coolant movement is made. The features of hydraulic calculation of the operating systems are given.

Keywords: water two-pipe heating systems, hydraulic calculation, hydraulic linkage, heating systems regulation

Современные системы отопления в первую очередь должны удовлетворять таким требованиям, как надежность, долговечность, эффективность, легкость эксплуатации и монтажа, экономичность. Среди множества видов систем отопления не все из них способны соответствовать всем критериям оценки качества и экономичности. Наиболее распространенными в практике проектирования являются двухтрубные системы отопления с тупиковым и попутным движением теплоносителя. Однако выбор движения теплоносителя по трубопроводам системы может сказаться на её гидравлической увязке и легкости регулирования системы.

При проектировании важно уделять внимание тому, что современные системы отопления – это системы с постоянно изменяющимся гидравлическим и тепловым режимом в процессе эксплуатации [1]. Точный расчет трубопроводов, верные настройки термостатических вентилей и разумное применение вентильных систем на стояках, регуляторов расхода или перепада давления, а также регулируемого циркуляционного насоса — все это гарантирует экономное распределение требуемого количества теплоносителя и гидравлическую увязку систем [2]. Однако не во всех системах отопления предусматривают установку вентильных систем, к примеру в промышленных зданиях и помещениях; или может возникнуть ситуация, когда авторитет регулирующего вентиля слишком мал. Следовательно, на этапе проектирования следует стремиться к тому, чтобы системы были гидравлически увязаны и устойчивы без применения регулирующей арматуры.

К примеру, при попутном движении теплоносителя на простоту гидравлической увязки оказывает влияние тот факт, что длины циркуляционных колец через каждый отопительный прибор практически одинаковы, и в случае установки термостатических клапанов на приборы наиболее вероятно, что настройки клапана будут достаточно для балансировки. Но при тупиковой схеме чем дальше прибор от источника тепла, тем длиннее циркуляционное кольцо, проходящее через него, и на первом приборе мы должны выставить максимальную настройку, т.е. максимально зажать сечение, и в случае, если система очень протяженная, настройки клапана может не хватить, либо, если мы выставим максимальную настройку, сечение будет уменьшено настолько, что вода в отопительный прибор не потечет [3]. Поэтому предварительно можно сделать вывод о том, что попутная схема предпочтительна. Однако на практике следует учитывать множество других факторов, которые могут оказать влияние на гидравлику системы.

В данной статье рассмотрим двухтрубную систему отопления с тупиковым и попутным движением теплоносителя, запроектированную для небольшого здания, и выясним, какая система является предпочтительной с точки зрения гидравлической увязки.

Запроектированы две системы отопления для небольшого коттеджа: двухтрубная с тупиковым и попутным движением теплоносителя с нижней разводкой магистральных трубопроводов, с восемью отопительными секционными алюминиевыми радиаторами (рис. 1, а, б). Трубопроводы выполнены из легких водогазопроводных труб (ГОСТ 3262), параметры теплоносителя – 80-20 °С.

Гидравлические расчеты систем выполняются с помощью программы «Danfoss C.O.» Для более точных расчетов на подводках к отопительным приборам не стоит регулирующая арматура (только запорная), так как нашей целью было определить, какая система отопления будет иметь более легкую регулировку и гидравлическую увязку.

Построим схемы систем отопления коттеджа с восемью отопительными приборами, для удобства и систематизации показаний каждому отопительному прибору (ОП) присвоим номер ОП №1-8. Необходимо узнать величину невязки в % для каждого циркуляционного кольца, при этом должны выполняться условия: невязка потерь давления в циркуляционных кольцах не должна превышать 15 % при тупиковой схеме и 5 % – при попутной схеме движения теплоносителя [4, с. 195]. В программе «Danfoss C.O.» данная информация содержится во вкладке «Итоги» – «Циркуляционные кольца» в виде сводной таблицы для каждого отопительного прибора. Для удобства просмотра и сравнения показаний сведем их в таблицу (графы 2, 6).

В данном случае можно сделать предварительные выводы о том, что величина невязки циркуляционных колец в тупиковой системе меньше, чем в попутной, а также в ОП №3, 4 невязка не превышает 15 % для тупиковой схемы. Следовательно, в данном примере тупиковая схема гидравлически увязывается лучше.

Однако недостаточно подводить итоги, основываясь на данных для небольшой системы отопления, поэтому сделаем первое дополнение (см. рис. 1): добавим шесть одинаковых отопительных приборов, рассчитанных на тепловой поток, равный 1000 Вт, с

расстоянием между ними в 1 м. Эти дополнительные радиаторы имеют ту же марку и такую же обвязку, что и во всей системе отопления. Для тупиковой схемы присоединим по три отопительных прибора с разных концов ветвей для уравнивания нагрузок и длин трубопроводов относительно источника тепла. Для попутной схемы эти же шесть радиаторов врежутся в том же месте, что и для тупиковой схемы, места врезки показаны пунктирной линией. В итоге мы получаем такие же две схемы, но с четырнадцатью отопительными приборами. Внесем данные изменения в программу «DanfossC.O.» и сведем показания гидравлической увязки новых систем в таблицу (графы 3, 7).

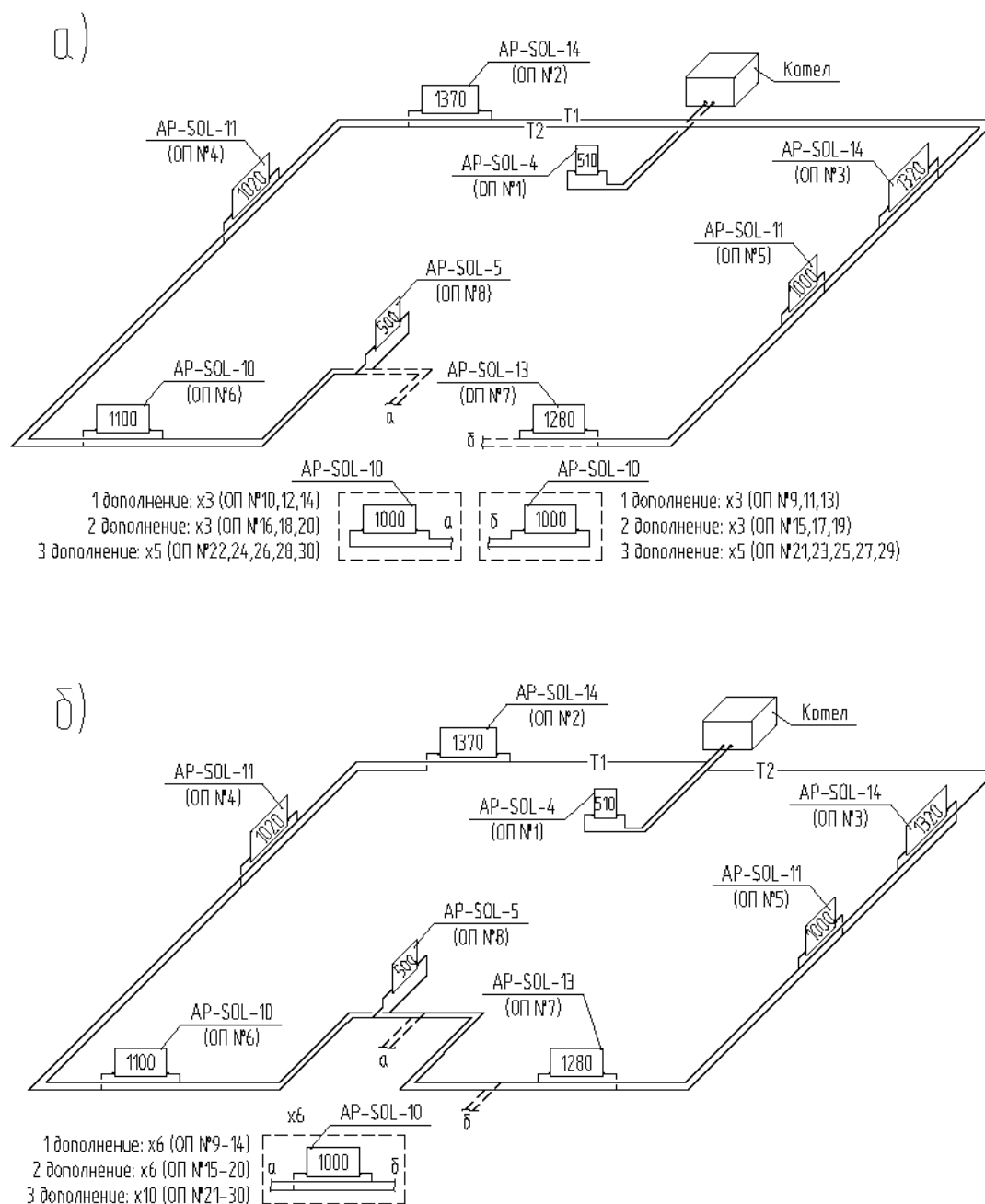


Рис. 1. Схемы двухтрубных систем отопления с нижней разводкой:
а – с тупиковым; б – с попутным движением теплоносителя

Показания гидравлической увязки циркуляционных колец

№ ОП	Тупиковая схема				Попутная схема			
	8 ОП	14 ОП	20 ОП	30 ОП	8 ОП	14 ОП	20 ОП	30 ОП
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	596,9	1332,0	1176,0	1441	1346,0	1630,0	1546,0	1510,0
2	90,1	524,1	374,1	552,2	49,8	138,9	58,7	29,4
3	7,4	377,1	226,0	477,1	46,5	104,0	41,8	22,1
4	13,1	144,1	174,2	520,3	24,5	1,1	2,8	0,2
5	15,1	182,4	156,8	575,5	40,4	37,8	20,0	12,0
6	34,3	25,1	6,2	264,8	48,9	32,7	19,5	8,2
7	29,8	33,5	5,3	8,5	51,3	31,0	15,0	3,7
8	32,3	44,8	23,0	24,4	53,2	29,0	13,3	7,6
9		36,3	26,7	5,7		30,9	13,7	4,0
10		47,6	28,8	0,8		28,5	13,5	8,1
11		37,8	37,6	17,3		28,4	10,4	6,0
12		48,4	40,2	15,1		19,9	5,0	20,7
13		38,1	43,4	25,2		20,5	1,5	2,1
14		48,5	45,3	22,2		21,1	6,9	4,4
15			46,2	30,6			1,4	4,7
16			47,9	28,1			4,9	4,1
17			47,2	34,3			11,5	2,4
18			48,8	32			13,0	9,3
19			47,5	36,9			14,8	6,6
20			49,0	43,9			15,0	12,0
21				44,9				8,1
22				49,8				12,4
23				48,6				7,3
24				53				10,2
25				50,4				1,0
26				54,7				0,9
27				51,1				4,3
28				55,3				3,7
29				51,3				6,1
30				55,5				4,8

В данном примере величины невязок для большинства приборов меньше в попутной схеме, однако только одно циркуляционное кольцо из двух схем не превышает нормируемых величин – ОП №4. Как и в предыдущем случае, отопительный прибор, расположенный ближе всех к источнику тепла (ОП №1), имеет слишком большую величину невязки, и в связи с тем, что общий тепловой поток в системе увеличился на 6000 Вт, эта невязка стала возрастать. В любой схеме данный отопительный прибор будет иметь наихудшее положение с точки зрения гидравлической увязки.

Сделаем второе дополнение (см. рис. 1): добавим ещё шесть одинаковых отопительных приборов с тепловым потоком 1000 Вт и расстоянием между ними в 1 м. Присоединение данных радиаторов выполним, как и в 1-м дополнении, добавив их к предыдущим шести. Полученная система будет иметь 20 отопительных приборов, за счет чего мы можем проанализировать больше данных для подведения конкретного итога. Такая схема больше характерна не для коттеджа, а для небольшого общественного здания. Показания невязок занесем в таблицу (графы 4, 8).

Как и в предыдущем случае, с точки зрения гидравлической увязки систем попутная схема имеет преимущества перед тупиковой, причем в попутной системе пять отопительных приборов имеют величину невязки, не превышающую 5 %, а в тупиковой – у двух приборов величина невязки не превышает 15 %.

Выполним последнее присоединение дополнительных отопительных приборов по той же схеме в количестве 10 шт., в итоге мы получаем две системы с тридцатью радиаторами. Показания невязок занесены в таблицу (графы 5, 9). Гидравлическое преимущество попутной схемы в данном примере сохраняется, тринадцать отопительных приборов имеют невязку меньше 5 %, а в тупиковой схеме только три радиатора – меньше 15 %. Также нужно отметить, что ОП №1 сохраняет свое гидравлически невыгодное положение во всех рассмотренных случаях.

Каждый раз увеличивая количество отопительных приборов в системах отопления, мы отметили, что попутная схема с точки зрения гидравлической работы лучше увязывается. Однако для небольших систем, к примеру для отопления коттеджа, нет большой разницы в выборе направления движения теплоносителя.

Если продолжить увеличение количества приборов в рассмотренных системах, можно столкнуться с тем, что в последние радиаторы по подающему трубопроводу будет поступать охлажденный теплоноситель, поэтому потребуется разделение системы на несколько отдельных ветвей.

Согласно [5, рис. 8.2; 8.3] эпюры циркуляционного давления в системах отопления с попутным и тупиковым движением воды в магистралях будут выглядеть так:

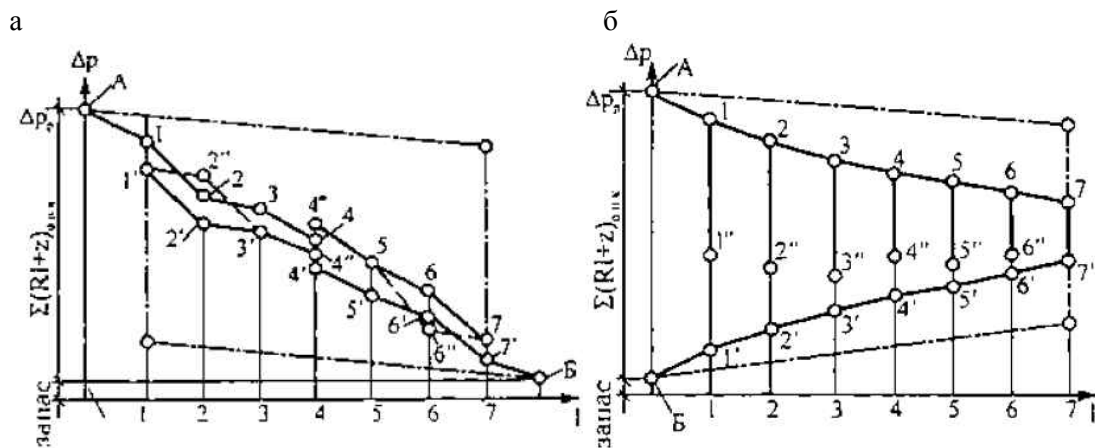


Рис. 2. Эпюры циркуляционного давления в системах отопления с попутным (а) и тупиковым (б) движением воды в магистралях

В ы в о д ы :

1. Давление в подающей магистрали должно быть больше, чем в обратной. Обратное соотношение давления в магистралях вызовет циркуляцию охлажденной воды через отопительные приборы («обратную» циркуляцию или «опрокидывание» циркуляции).

2. Опасность «опрокидывания» циркуляции воды в стояках систем с попутным движением ее в магистралях подчеркивает необходимость выполнения гидравлического расчета таких систем с невязкой не более $\pm 5\%$.

3. На практике следует учитывать множество других факторов, которые могут оказать влияние на гидравлику системы, следовательно, при больших системах отопления попутная схема будет иметь преимущество перед тупиковой.

Список литературы

1. Системы отопления частного дома. – URL: <http://vcp-group.ru/sistemy-otopleniya-chastnogo-doma>.
2. Гидравлическая увязка системы отопления. – URL: <http://www.eurostroy.ru/articles/gidravlicheskaya-uvyazka-sistem-otopleniya:-zachem-eto-nuzhno-i-kak-sdelat>.
3. Королева, А. Попутное и тупиковое движение теплоносителя / А. Королева. – URL: <http://hvac-engineer.ru/poputnoe-i-tupikovo-dvizhenie-teplonositelya>.

4. Еремкин, А.И. Тепловой режим зданий / А.И. Еремкин, Т.И. Королева. – Ростов н/Д.: Феникс, 2008. – 363 с.
5. Сканави, А.Н. Отопление / А.Н. Сканави, Л.М. Махов. – М.: АСВ, 2002. – 576 с.

References

1. The heating system of a private house. – URL: <http://vcp-group.ru/sistemy-otopleniya-chastnogo-doma>.
2. Hydronic balancing of the heating system. – URL: <http://www.eurostroy.ru/articles/gidravlicheskaya-uvyazka-sistemyi-otopleniya-zachem-eto-nuzhno-i-kak-sdelat>.
3. Koroleva, A. Passing and dead-end movement of the heat carrier / A. Koroleva. – URL: <http://hvac-engineer.ru/poputnoe-i-tupikovoe-dvizhenie-teplonositelya>.
4. Eremkin, A.I. Thermal behavior of buildings / A. I. Eremkin, I. T. Koroleva. – Rostov n/D: Feniks, 2008. – 363 p.
5. Skanavi, A.N. Heating / A.N. Skanavi, L.M. Makhov. – M.: ASV, 2002. – 576 p.

АРХИТЕКТУРА

ARCHITECTURE

УДК 711.4 + 72.01

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет
Россия, 190005, г. Санкт-Петербург,
2-ая Красноармейская ул., д. 4,
тел.: 8(812) 575-05-34; факс: 8(812) 316-58-72

Монастырская Марина Евгеньевна,
кандидат архитектуры, доцент кафедры
«Архитектурное проектирование»
E-mail: gradoved@gmail.com

*St. Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering*

Russia, 190005, Saint-Petersburg,
4, 2-nd Krasnoarmeiskaya St.,
tel: 8(812) 575-05-34; fax: 8(812) 316-58-72

Monastyrskaya Marina Evgenyevna,
Candidate of architecture, Associate Professor
of the department «Architectural design»
E-mail: gradoved@gmail.com

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ИДЕНТИЧНОСТЬ КАК ОСНОВА «ПАРАДИГМАЛЬНОЙ» ИНТЕГРАЦИИ В ГРАДООБРАЗОВАНИИ

М. Е. Монастырская

Сформулирована научная проблема «парадигмальной» интеграции в градообразовании. Приведены авторские определения понятий «региональная градостроительная идентификация», «региональная градостроительная идентичность», «региональная идентичность градостроительной деятельности». Обозначены структура, конституционные «срезы», истоки формирования, функции этих явлений и процесса, перспективные в контексте совершенствования градостроительной деятельности.

Ключевые слова: мировоззренческий подход, парадигма градоформирования, градостроительная технология, инновация, традиция, региональная градостроительная идентификация, региональная градостроительная идентичность, региональная идентичность градостроительной деятельности

REGIONAL URBAN PLANNING IDENTITY AS THE BASIS OF PARADIGM INTEGRATION IN URBAN FORMATION

M.E. Monastyrskaya

The scientific problem of paradigm integration in urban formation is formulated. The author's definitions of «regional urban planning identification», «regional urban planning identity» and «regional identity of urban development» are given. The structure, the constitutional aspects, the origins of the formation, the functions of these phenomena and of this process, which are perspective in the context of improving urban planning, are revealed.

Keywords: world perception approach, urban formation paradigm, urban planning technology, innovation, tradition, regional urban planning identification, regional urban planning identity, regional identity of urban development

«Изобретения XX–XXI веков меняют антропологическую и социальную схему бытия. Человечество вступает в новый ЭОН существования, в следующую супермасштабную фазу. <....> Ключевыми процессами, репрезентирующими эпоху в

целом, являются развитие Интернета («информационная революция») и интеграция финансовых рынков («глобализация»)» [1, с. 6]. Тотальное распространение и пока паритетное сосуществование этих процессов, «репрезентирующих» (по И.А. Добрицыной) начало второго тысячелетия нашей эры, предполагают два «сценария» развития человеческого общества на перспективу, а именно: переход к «супериндустриальному обществу» (Д. Белл), «технотронной эре» (З. Бжезинский), «сверхиндустриальной цивилизации» (Э. Тоффлер) или «информационной эпохе» (М. Кастельс) и, одновременно, становление «глобального общества» (И. Валлерстайн), что обуславливает высокий уровень конфликтности и сущностные многоплановость и неоднозначность происходящей на наших глазах социокультурной и экономической трансформации [2]. «Известный американский мыслитель, «отец исторической глобалистики» Иммануил Валлерстайн» [3, с. 250] утверждает, «что современная миросистема вступила в эпоху «перехода», что она стоит перед точкой бифуркации и перед периодом великих родовых мук и повсеместного хаоса и что в течение следующих 25–50 лет мир эволюционирует к новому структурному порядку, который может быть будет, а может быть нет, лучше, чем современная система, но, несомненно, будет иным» [4, с. 16]. Преобразование «такого размаха не может совершиться за день, месяц или год. Это процесс перехода. <....> Будущее будет разворачиваться постольку, поскольку мы будем его разворачивать, в рамках тех ограничений, которые задает нам реальный мир» [4, с. 77].

К таким ограничениям относятся противоречивость бытования в профессиональном архитектурном сообществе и, следовательно, конфликтность предметной реализации теоретико-методологических предпосылок и технологий пространственного регулирования социально-экономических и экологических процессов, протекающих на планетарном, континентальном (*субконтинентальном*), региональном (*субрегиональном*) и локальном уровнях обустройства среды обитания, методами и средствами градостроительной деятельности. В основе отмеченной противоречивости предпосылок и техник градоформирования лежит их идейная обусловленность принципиально различающимися мировоззренческими подходами к изучению и прогнозированию развития пространственно-временных, территориально-географических, экономических, социально-исторических, политических и иных форм и аспектов бытия – цивилизационным и глобалистским*.

Цивилизационный (или *структуралистский*) подход, базируясь, как известно, на принципе цикличности становления, функционирования и революционной трансформации социально-экономических систем, учитывает неравномерность развития отдельных регионов мира, различных государств, институализированных территориальных сообществ и потому признает и обосновывает разновременность формирования цивилизаций определенного типа (*т. е. достижения одинаковых стадий развития общественно-экономических систем*) сообразно региональным, субрегиональным и/или местным условиям. Цивилизационная модель общественного устройства раскрыта в научных трудах теоретиков индустриального общества (Р. Арон, П. Бергер, Дж. Гэлбрейт, П. Дракер, А. Пенни, У. Росту, и др.) и постиндустриального общества (Д. Белл, З. Бжезинский, М. Кастельс, М. Маклюэн, Д. Рисмэн, Э. Тоффлер и др.). Глобалистский (или *миросистемный*) подход предполагает регулирование международных интеграционных процессов на основе унифицированного технократического подхода [2, с. 88] и однотипной для всех ее субъектов модели развития. Он опирается на учение об «исторических системах» или «миросистемах» И. Валлерстайна, теорию «социальных систем» Н. Лумана и, в определенном смысле, на концепцию «социокультурных суперсистем» П. Сорокина. Глобалистская парадигма общественного развития представлена в трудах антропологов, экономистов, социологов, философов,

* Согласно утверждению А.В. Чугунова, попытки «построить комплексную теоретическую модель новой общественной системы» [2, с. 3], предпринятые мировым научным сообществом в 1990-е годы и в начале XXI века, успеха не имели. Бесспорно, заслуживает внимания «линия гуманизации процесса глобализации» [2, с. 5], намеченная в программных документах ЮНЕСКО, «однако научного обоснования введения нового термина пока еще не появилось» [2, с. 6].

геополитиков и культурологов У. Андерсона, А. Аппадурани, М. Арчера, У. Бека, Э. Гидденса, О. Ианни, Т. Левитта, Дж. Маклина, Р. Робертсона, Л. Склэра, П. Тейлора, Г. Терборна, Б. Тернера, М. Уотерса, М. Фезерстоуна и др. По убеждению ряда экспертов, конфликтное взаимодействие и не всегда результативное взаимовлияние указанных мировоззренческих подходов к анализу, оценке и прогнозированию развития исторических (*культурных, социальных и/или экономических*) систем, наблюдаемые сегодня, в методологическом отношении знаменуют «переход от структуралистского мышления к системному» [5]. Этот сюжет является значимым для историко-градостроительной науки и урбанографии, ибо каждой из мировоззренческих парадигм соответствует яркая и вполне определенная парадигма градоформирования. «Слово «парадигма» – модное в современном околонаучном дискурсе – означает «образец». Это не истина и не описание объекта. Это схема, позволяющая упорядочить вопросы и идеи, возникающие внутри какой-то сферы знания, и позволяющая на первых шагах придать им хотя бы приблизительный порядок, в котором рассуждения не смешивались бы и не сплетались в узлы. Парадигма такого рода не может быть обоснована или доказана с надлежащей полнотой и убедительностью. Она проверяется практически, постфактум, и если оказывается полезной, то живет до тех пор, пока не перестанет служить своей цели и не сменится иной, еще более полезной» [6, с. 27].

Между двумя градостроительными парадигмами – исторически уже апробированной и вновь формируемой «со скоростью света» – лежит «дистанция огромного размера» в целевом и, следовательно, в содержательном и алгоритмическом плане. В последней трети XX века полностью оформились и пока являются преобладающими в профессиональном градостроительном сознании и, следовательно, в практической деятельности зодчих теоретические подходы к градообразованию, имеющие в своей основе эволюционный тип возникновения, пространственно-структурную методологию и контекстуально-средовую ориентацию. Такие подходы мы с полной ответственностью можем охарактеризовать как традиционные. Глобализация же мировой экономики и культуры как мощный градоформирующий фактор обусловила становление инновационных подходов к освоению среды обитания, самым радикальным образом отличающихся от уже упомянутых традиционных. В основе этих подходов лежит принцип «сетевого» моделирования пространств регионов (*субрегионов*) и ландшафтов глобальных городов, а также городов, с различной скоростью глобализирующихся [7]. Город, с точки зрения глобалиста, согласно Саскии Сассен – «первооткрывателю» понятия «глобальный город» (1991 г.), «это функция международной сети стратегических площадок <...>, это место, но в своем функционировании он зачастую проявляет себя в качестве особой, высокоспециализированной сети» [8]. Поэтому не случайно в своей программной работе «Архитектура и общество. Трехэтажная парадигма» Александр Раппапорт, размышляя о «возможном изменении глобальных расселенческих социально-культурных стереотипов, как только магия мегаполисов начнет идти на убыль» [6, с. 30], высказывает предположение о том, что весьма скоро градостроители и «архитекторы будут поставлены перед совершенно иными сетевыми инфраструктурами расселения» [6, с. 30], а Галина Птичникова в статье «Архитектурное пространство в эпоху глобализации» предполагает «новую постановку проблем пространственной организации общества и формирования его среды» [9, с. 41].

Следует признать, что вторжение глобальных процессов в пространства урбанизированных территорий и городских агломераций существенно повысило их средоформирующий потенциал. «Среди позитивных результатов, которые несут с собой процессы архитектурной глобализации, можно отметить модернизацию архитектурного облика <...> городов, апробацию новых принципов формообразования, внедрение новых строительных технологий, улучшение имиджа города, идущего «в ногу со временем». Вместе с тем необходимо остановиться и на негативных тенденциях. Это, например, заметная агрессивность новой застройки по отношению к городскому окружению, игнорирование историко-культурного наследия, немасштабность среде, искажение сложившихся городских силуэтов» [3, с. 262], необоснованная трансформация морфологической и символической структур поселений и т.д. Сегодня

в силу нескоординированного, обособленного проектного и материального воплощения принципиально разнящихся установок и сценариев градостроительной деятельности, соответствующих традиционной и инновационной моделям градообразования, возникают трудноразрешимые проблемы в функционировании и развитии городов и городских агломераций, появляются структурно-пространственные, имажинальные, коммуникативно-информационные и иные издержки и средовые конфликты, пока «неснимаемые», и потому препятствующие эффективному, устойчивому (поддерживаемому) и безопасному развитию урбанизированных территорий и систем расселения.

Таким образом, решение научной проблемы нашего исследования лежит в плоскости поиска фундаментальных оснований для совмещения и/или интеграции на продолжительный период времени – эпоху «перехода, кризиса, конфликта» (Г.В. Есаулов), – разнонаправленных градостроительных технологий, которые являются воплощением теоретически и методологически разнящихся подходов к обустройству среды обитания: традиционного (*пространственно-структурного*) и инновационного (*«сетевого» и/или «узлового»*). Вектором нормализации градостроительной деятельности, разработки и внедрения в архитектурно-градостроительные практики конкурентоспособных стратегий средообразования, которые, с одной стороны, отвечают требованиям глобального «мейн-стрима» (Г.А. Птичкина), а с другой, не противоречат общечеловеческим ценностям и местным традициям, выступает **регионализация**; средством служит **региональная градостроительная идентификация**, а основанием, как свидетельствуют результаты исследований автора, является **региональная градостроительная идентичность** [7], в более узком инструментальном смысле – **региональная идентичность градостроительной деятельности**.

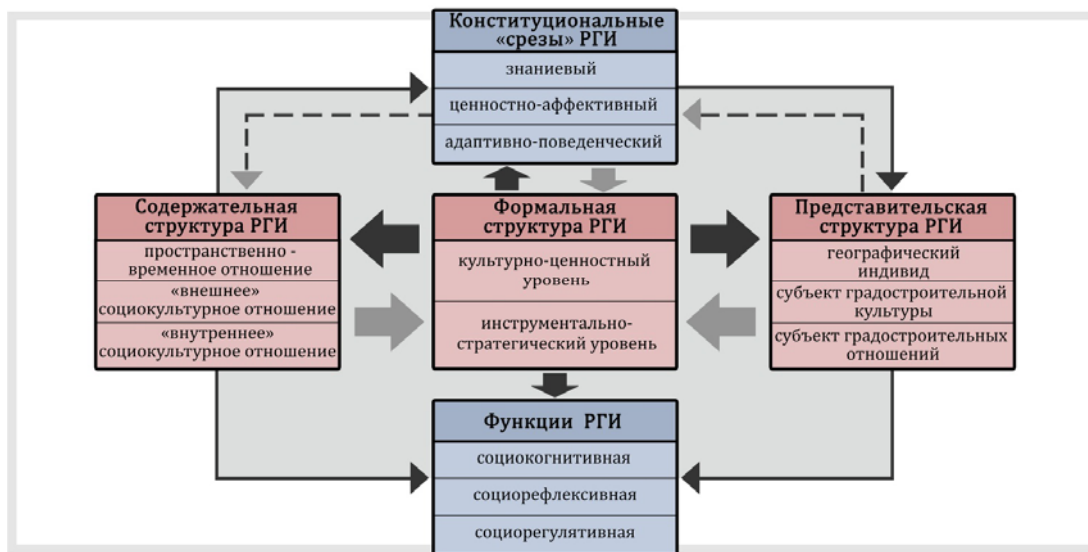
Под **регионализацией** в контексте наших изысканий понимается субъект глобализации и, одновременно, ее альтернативный вектор, в русле которого архитектурно-градостроительной наукой и практикой поддерживаются, разрабатываются и воплощаются регионально ориентированные стратегии градообразования, нацеленные на «разрешение тех проблемных ситуаций, которые сокращают эффективность» [10, с. 13] продолжительного использования городских территорий и урбанизированных ландшафтов в интересах человека.

Региональная (пространственная, территориальная) градостроительная идентичность – это явление и научно-практическая категория, фиксирующие результат региональной градостроительной идентификации. Последняя представляет собой процесс осознания, эмоционального восприятия и оценки «географическими индивидами» (*личностью, социальной группой, территориальной общностью*) своеобразия предпосылок, подходов, форм, способов, средств, приемов и результатов архитектурно-градостроительного обустройства урбанизированных территорий, городов и иных поселений, которое присуще региону – гомогенному пространству – месту, «имеющему физико-географическую, этническую, культурную, языковую общность, а также общность хозяйственных структур и единую историческую судьбу» [11]. **Региональная градостроительная идентификация** – это непрерывный процесс самоотождествления человека с другим человеком, социальной группой, территориальной общностью, обитающими в пространственных границах региона (*территории*) и вовлеченными в неповторимую градостроительную культуру этого региона (*территории*), и, одновременно, обособления и дистанцирования регионального сообщества от других «географических индивидов» в аспектах градообразования.

Процесс региональной градостроительной идентификации, обусловленный восприятием «индивидом себя как представителя определенной воображенной общности, основывающейся на единстве проживания, истории и традиций, социокультурного опыта, ценностных ориентаций и образа жизни» [12, с. 65], и нацеленный на обретение группой сознательного отношения «к определенной территории, к ее образу» [13, с. 16], ее символам, ее мифам, «предполагает конкретизацию пространственно-временных координат» [13, с. 18]. По утверждению Д.С. Докучаева, региональное «сообщество «вырастает» из сформировавшего его ландшафта и продолжает им обуславливаться через неявные и до конца еще не выясненные механизмы детерминации. Но не только

«земля лепит людскую породу», региональное сообщество также осваивает физическое пространство. Процесс освоения пространства – это процесс его означивания» [13, с. 18], который осуществляется на двух уровнях формирования «идеальной модели территории»* [13, с. 19]: образном и предметно-материальном. Оба эти уровня презентуют неизменяемые качества региональной среды обитания, а именно: ее «уникальность» (*индивидуальность*) и «отличительность» (*особость*), которые в методологическом отношении соотносимы с важнейшими компонентами регионального пространствообразования**, формализуемыми в научно-практических категориях «региональные закономерности» и «региональная специфика» градостроительной деятельности. Именно эти компоненты, фиксируемые и проявляемые пространственно-историческими образами региональной урбанизации, а также «означиваемые» естественно-природной и исторически обустроенной архитектурно-градостроительной средой, служат в силу их персистентности основой формирования региональной градостроительной идентичности.

Региональная градостроительная идентичность (РГИ) является значимой частью социокультурной идентичности «географических индивидов» и потому характеризуется смешением двух идентификационных начал: естественного и искусственного, последовательная самоактуализация и организованное поддержание которых обуславливают стихийное возникновение, становление, а затем и целенаправленное развитие региональной градоформирующей «самости» [7]. Содержательная, формальная и компонентная структура РГИ, а также конституциональные «срезы» этого явления и его основные функции, весьма перспективные с точки зрения «парадигмальной» интеграции в градообразовании, представлены на рисунке.



Структура, конституциональные «срезы» и функции РГИ

* Д.С. Докучаев выделяет «два аспекта в означивании территории: 1) маркировку естественной природной среды без ее искусственного преобразования (что находит выражение в фольклоре, литературе, политической риторике и так далее); 2) создание артефактов, опредмечивание региональной идеи в камне и дереве, стекле и бетоне, бронзе и железе» [13, с. 19].

** Е. Г. Лапшина полагает, что в современных условиях, после того как «архитектура прошла от порядка к хаосу и обратно, сменив центральную категорию «пространство» последовательно на другие категории: «среда» в рамках средового подхода, «знак» или «культурный символ» в рамках подхода культурологического, «система» и «деятельность» в рамках проектного, методологического подхода [14, с. 184], актуальным стало возвращение к понятию «архитектурное пространство», трактуемому через его динамическую сущность. Поскольку в рамках профессии пока не сложилось нового, адекватного современному уровню развития общества и архитектуры понятия «архитектурного пространства» (оно остается многозначным), постольку «сохраняется возможность выработки каждой региональной школой своей пространственной концепции» [14, с. 185], учитывающей региональные особенности той или другой школы, сохранение их специфики, своего «лица» [14, с. 185].

Целью выявления и изучения **РГИ** является создание предпосылок для конструирования региональной идентичности градостроительной деятельности. Под **региональной идентичностью градостроительной деятельности (РИГД)** нами понимается инструментально-стратегическая (*активная, деятельностьная, институциональная*) компонента региональной градостроительной идентичности, определяемая знаниевой (*социокогнитивной*), ценностно-аффективной (*социорефлексивной*) и адаптивно-поведенческой (*социорегулятивной*) установками, акцентуациями и предпочтениями субъектов градостроительных отношений.

Региональная идентификация градостроительной деятельности – это процесс соотнесения и отождествления акторами и элитами градообразования содержательных, структурных, алгоритмических, регулятивных и иных атрибутов деятельности «по развитию территорий, городских и иных поселений» (*концептов, методов, технологий, направлений, правил, установок, нормативов и пр.*), осуществляемой в пространственных границах региона (*макрорегиона*), субрегионов (*мезорегионов*) и/или их частей (*микрорегионов*) с общерегиональными закономерностями и спецификой становления и развития процесса урбанизации. Другими словами, региональная идентификация градостроительной деятельности – это уподобление свойств градостроительной деятельности, осуществляемой в регионе (*субрегионе, его части*) в каждый конкретный момент времени, историческим специфике и закономерностям регионального градообразования. Региональная идентификация градостроительной деятельности представляет собой процесс познания, восприятия и интерпретации субъектами градостроительных отношений ее регионального своеобразия, результатом которых является целенаправленная институализация «уникальности» и «отличительности», характерных для градообразования региона, в градостроительной культуре, образовании, идеологии, политике, нормотворчестве, проектировании (*прогнозировании, планировании и т.ч.*), управлении развитием градостроительных форм и структур. Таким образом, **целью региональной идентификации градостроительной деятельности** является ее совершенствование за счет адаптации современных технологий «градостроительного дела» (*традиционных, инновационных*) к исторически апробированным теоретическим подходам, методическим схемам и практическим алгоритмам регулирования процесса урбанизации в регионе и, таким образом, их совмещение и/или интеграция на продолжительный период времени, необходимый и достаточный для перехода регионального сообщества к новой модели социального и экономического развития.

Вывод: разработка автором «Концепции региональной идентификации градостроительной деятельности», неотъемлемой частью которой являются приведенные в настоящей статье обоснования и теоретические положения, раскрытие сущности последних, обозначение перспективных направлений их институализации сообразно целям и задачам современного градообразования, означает формирование нового направления в градоведении.

Список литературы

1. Добрицына, И.А. Введение. Архитектура как иммунная система /И.А. Добрицына // Архитектура и социальный мир / Отв. ред. И.А. Добрицына. – М.: Прогресс-Традиция, 2012. – С. 6–24.
2. Чугунов, А.В. Развитие информационного общества: теории, концепции, программы / А.В. Чугунов. – СПб.: Ф-т филологии и искусств СПбГУ, 2007. – 98 с.
3. Птичникова, Г.А. Объекты «глобальной архитектуры» в пространстве российского города: проблема соответствия контексту / Г.А. Птичникова // Архитектура и социальный мир/ Отв. ред. И.А. Добрицына. – М.: Прогресс-Традиция, 2012. – С. 250–264.
4. Валлерстайн, И. Анализ мировых систем и ситуация в современном мире / И. Валлерстайн; пер. с англ. П.М. Кудюкина; под общ. ред. канд. полит. наук Б.Ю. Кагарлицкого. – СПб.: Изд-во «Университетская книга», 2001. – 416 с.

5. Чепелик, О.В. Утопические аспекты современного урбанизма / О.В. Чепелик // Художественный журнал. – 2003. – №51/52. – URL: <http://xz.gif.ru/numbers/51-52/urbanizm/>
6. Раппапорт, А.Г. Архитектура и общество. Трехэтажная парадигма / А.Г. Раппапорт // Архитектура и социальный мир/ Отв. ред. И.А. Добрицына. – М.: Прогресс-Традиция, 2012. – С. 27–40.
7. Монастырская, М.Е. Балтийская идентичность градостроительной деятельности: генезис явления, подходы к изучению / М.Е. Монастырская // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 4(57). – С. 28–37.
8. Сассен, С. Глобальные города: постиндустриальные производственные площадки // Прогнозис. – 2005. – № 1 (2). – URL: <http://les-urbanistes.blogspot.ru/2009/01/blog-post.html>
9. Птичникова, Г.А. Архитектурное пространство в эпоху глобализации / Г.А. Птичникова // Социология города. – 2008. – № 1. – С. 40–53.
10. Нефедов, В.А. Городской ландшафтный дизайн / В.А. Нефедов. – СПб.: «Любавич», 2012. – 320 с.
11. Исмагилов, Н.Н. Проблема региональной идентичности в Российском социокультурном пространстве / Н.Н. Исмагилов // География и природные ресурсы. – 2009. – № 3. – С. 129–134.
12. Люкманов, Э.Т. К вопросу о понятии, содержании и особенностях территориальной идентичности: (геогр. аспект) / Э.Т. Люкманов // Вестн. Моск. гор. пед. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2014. – № 1 (13). – С. 65–71.
13. Докучаев, Д.С. Региональная идентичность: понятие, структура, функции / Д.С. Докучаев // Философия и культура. – 2012. – № 12. – С. 15–22. – URL: http://www.nbpublish.com/libraru_read_article.php?id=-22387
14. Лапшина, Е.Г. Дисциплина «пространство» в столичной и региональной архитектурно-художественной школе России / Е.Г. Лапшина // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 2(11). – С. 181–185.

References

1. Dobricyna, I.A. Introduction. Architecture as the immune system / I.A. Dobricyna // Architecture and social world; Executive editor I.A. Dobricyna. – М.: Progress-Tradition, 2012. – P. 6–24.
2. Chugunov, A.V. The development of the information society: theories, concepts, programs / A.V. Chugunov. – S.Petersburg: The Department of Philology and Art of Saint Petersburg State University, 2007. – 98 p.
3. Ptichnikova, G.A. Objects of the «global architecture» in the space of Russian cities: the problem of context / G.A. Ptichnikova // Architecture and social world; Executive editor I. A. Dobricyna. – М.: Progress-Tradition, 2012. – P. 250–264.
4. Wallerstein, I. The analysis of world systems and situation in the modern world / I. Wallerstein; The English translation of P.M. Kudyukin; under the general editorship of candidate of political science B.Y. Kagarlitsky. – S.Petersburg: University book, 2001. – 416 p.
5. Chepelik, O.V. The utopian aspects of contemporary urbanism / O.V. Chepelik // Art magazine. – 2003. – №51/52. – URL: <http://xz.gif.ru/numbers/51-52/urbanizm/>
6. Rappaport, A.G. Architecture and society. The three-stored paradigm / A.G. Rappaport // Architecture and social world; Executive editor I.A. Dobricyna. – М.: Progress-Tradition, 2012. – P. 27–40.
7. Monastyrskaja, M.E. Baltic identity of urban development: the genesis of the phenomenon, approaches to the study/ M.E. Monastyrskaja // Bulletin of civil engineers. – 2016. – № 4(57). – P. 28–37.
8. Sassen, S. Global cities: postindustrial industrial sites / S. Sassen // Prognosis. – 2005. – № 1 (2). – URL: <http://les-urbanistes.blogspot.ru/2009/01/blog-post.html>
9. Ptichnikova, G.A. Architectural space in the age of globalization / G.A. Ptichnikova // Sociology of the city. – 2008. – № 1. – P. 40–53.

-
10. Nefedov, V.A. Urban landscape design / V.A. Nefedov. – S.Petersburg: Ljubavich, 2012. – 320 p.
 11. Ismagilov, N.N. The problem of regional identity in the Russian socio-cultural space / N.N. Ismagilov // Geography and natural resources. – 2009. – № 3. – P. 129–134.
 12. Ljukmanov, Je.T. To the question about concept, contents and characteristics of territorial identity: (geographical aspect) / Je.T. Ljukmanov// Bulletin of Moscow State University of education. Natural science. – 2014. – № 1 (13). – P. 65–71.
 13. Dokuchaev, D.S. Regional identity: concept, structure, functions / D.S. Dokuchaev // Philosophy and culture. – 2012. – № 12. – P. 15–22. – URL: http://www.nbpublish.com/libraru_read_article.php?id=-22387
 14. Lapshina, E.G. The discipline of «space» in metropolitan and regional architectural and art school of Russia / E.G. Lapshina// Regional architecture and engineering. – 2011. – № 2(11). – P. 181–185.

*Костромская государственная
сельскохозяйственная академия*
Россия, 156530, Костромская область,
Костромской район, пос. Караваево,
Учебный городок,
тел.: 8(4942)657110
Кокшаров Александр Сергеевич,
кандидат архитектуры, доцент кафедры
«Архитектура и изобразительные
дисциплины»
E-mail: koksharov.kos@yandex.ru

Kostroma State Agricultural Academy
Russia, 156530, Educational small town,
settlement of Karavayevo, Kostroma area,
Kostroma region,
tel.: 8(4942)657110
Koksharov Alexander Sergeyevich,
Candidate of architecture, Associate Professor
of the department «Architecture and fine
discipline»
E-mail: koksharov.kos@yandex.ru

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ТОРГОВОГО ПРОСТРАНСТВА КИНЕШМЫ XVIII–НАЧАЛА XX ВВ.

А.С. Кокшаров

Проанализированы особенности формирования торгового пространства города Кинешмы XVIII – начала XX вв. Приведены результаты анализа регулярных планов и описано формирование планировки города с отступлением от конформированного плана. Рассматривается планировка и застройка торговых площадей и торговых улиц, архитектура крупных зданий – торговых рядов.

Ключевые слова: планировка, торговая площадь, торговое пространство, ряды, лавки

TOWN-PLANNING FORMATION OF TRADE SPACE IN KINESHMA IN XVIII–EARLY XX CENTURY

A.S. Koksharov

The features of the formation of trade space in the city in Kineshma in XVIII – early XX century are analyzed. Results of the analysis of regular plans and formation of planning of the city with derogation from the approved plan are given. Planning and building of trade spaces and shopping streets, architecture of large buildings – malls are described.

Keywords: planning, floor space, trade space, merchants ranks, stalls

Крупный волжский город – Кинешма – в XIX – начале XX вв. был важным торговым и промышленным городом Московского промышленного района Костромской губернии [1]. Здесь шла оживленная торговля сырьем и товарами. Он также служил перевалочным пунктом на торговом волжском пути для товаров с низовых губерний в Москву, а также в другие торговые города и села. Отсюда поставлялись товарный хлеб, сырье для льноткацкой, бумажной промышленности и другие товары и изделия. Торговля была толчком к развитию города, торговых площадей и зданий.

С 1708 г. Кинешма входит в состав Костромской провинции, а в 1797 г. становится уездным городом Костромской губернии. К этому времени уже сложилось ядро будущего центра города. До разработки первого регулярного плана 1779 г. планировочная структура Кинешмы состояла из четырех частей (слобод). Центральное ядро города складывалось на месте старого посада на небольшой возвышенности возле стен Успенско-Троицкого монастыря. Пять улиц радиусами сходились в центре торгового пространства, сформированного выше по рельефу от старого торгового пространства тремя каменными храмами (церкви Крестовоздвиженская, Воскресенская (Никольская), Благовещенская).

План 1779 г. отражал прямоугольную сеть новых улиц, но старая средневековая часть вокруг торгового пространства с веерной планировкой оставалась прежней, торговая площадь в

плане тоже сохранялась без изменений. Композиция следующего, конформированного, плана города 1781 г. радикально меняла всю существующую планировку города (рис. 1). Она была разработана в виде сети со строгой прямоугольной формой кварталов и принципиально отвергала средневековую сеть улиц. Совершенно другое решение получает старый торг и площадь «трех храмов» [2]. Новый план, созданный на основе приемов классицизма, не только закрепил торговое пространство центра, но и расширил его.

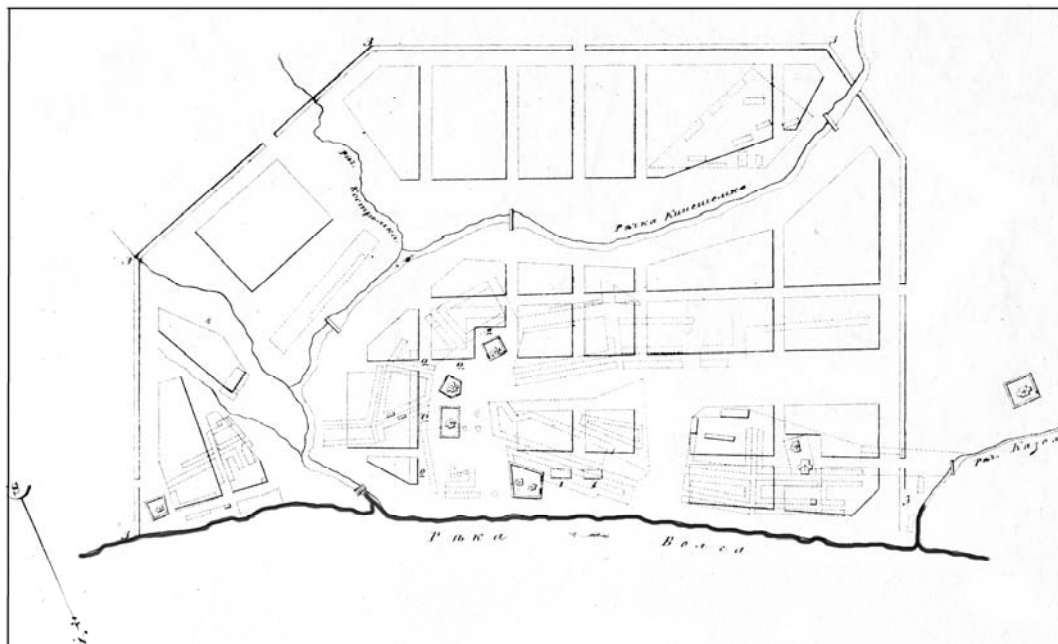


Рис. 1. Конформированный план Кинешмы (ПСЗРИ, 1781 г.)

В середине XIX в. торговое пространство уже делится на две зоны торговли: «нижнюю» торговую площадь и «верхнюю» базарную [3]. К этому времени торговая «нижняя» площадь, располагавшаяся на берегу Волги, получила каменные торговые ряды (рис. 2, 3).



Рис. 2. Вид нижней торговой площади конца XIX в.



Рис. 3. Вид верхней торговой (базарной) площади конца XIX в.

Большая улица-перспектива была застроена как торговая (ул. Московская). Она стала частью торгового пространства центра Кинешмы (рис. 4).

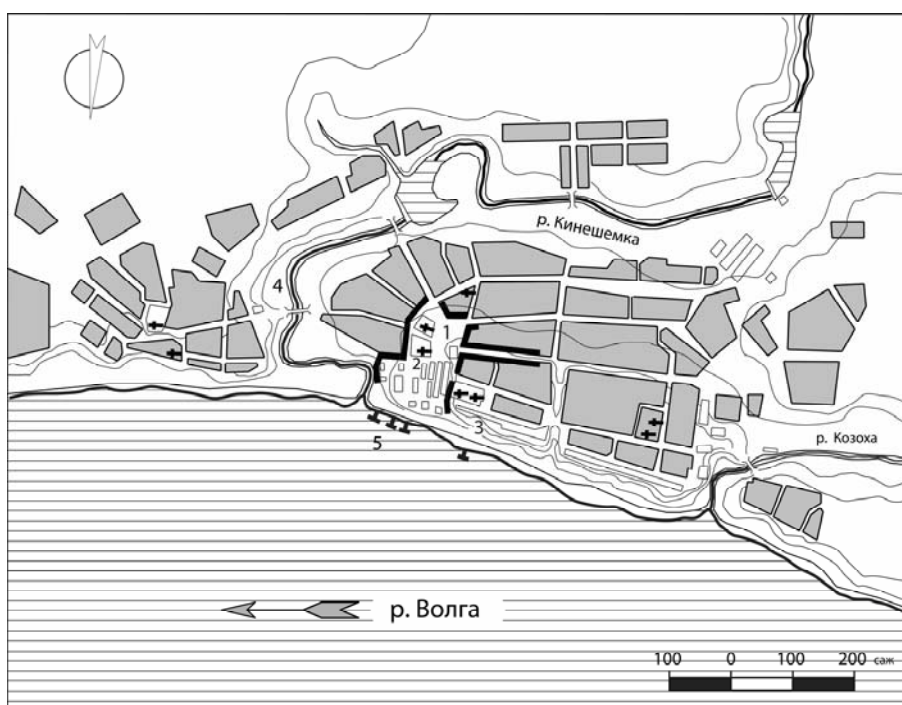


Рис. 4. Схема планировки Кинешмы начала XX в. (реконструкция автора)

Во второй половине XIX в. Кинешма становится крупным торгово-промышленным центром Верхнего Поволжья [4]. Фабричный товар поставлялся на крупные российские ярмарки в Харьков, Нижний-Новгород, Ростов и Ирбит [5]. Открываются коммерческие банки и торговые дома, «товарищества мануфактур» [6]. Появились новые типы торговых зданий: частные магазины с торговыми залами и рестораном, лабазы и склады для торговли оптовым товаром и даже пассаж [7]. В 1880–90-е гг. на «верхней» базарной площади строятся новые деревянные и каменные торговые ряды (корпуса каменных лавок) [8]. В 1888 г. возобновляется строительство торговых помещений. В 1911 г. вместо снесенного мануфактурного ряда возводится «красный

корпус» на средства кинешемского купечества [9]. Схема нового сложившегося торгового пространства приведена ниже (рис. 5).

Таким образом, Кинешма развивалась не по конформированному плану 1781 г., а по более раннему плану 1779 г., с его постепенной корректировкой, проводившейся в течение XIX в. Это также нашло подтверждение в решении торгового пространства Кинешмы, которое делилось на две площади и дополнилось торговой улицей.

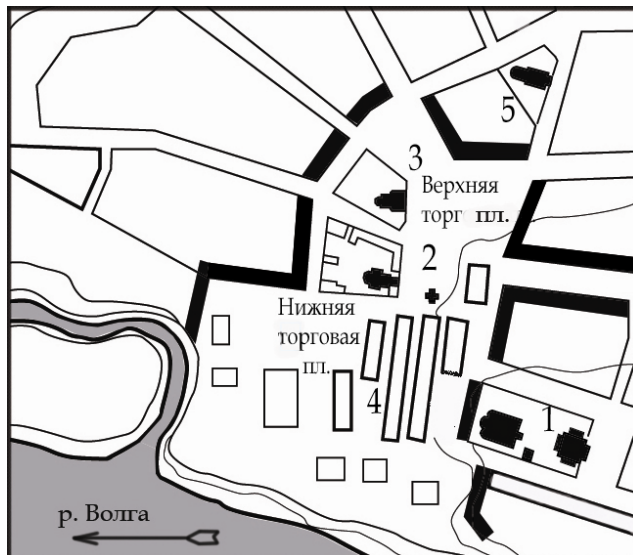


Рис. 5. План торгового пространства центра Кинешмы конца XIX –начала XX вв.:
1 – соборный комплекс Успенско-Троицкого мон-ря; 2, 3 – «верхняя» торговая площадь;
4 – «нижняя» торговая площадь; 5 – ц-вь Благовещения

Список литературы

1. Семенов, П.П. Географическо-статистический словарь Российской империи / П.П. Семенов-Тяньшанский. – Спб., 1885. – Т. IV. – 586 с.
2. Мжельский, В.М. Традиция храма «на торгу» в русском провинциальном градостроительстве Нового времени / В.М. Мжельский // Градостроительное искусство: Новые материалы и исследования. Вып.1 / Отв. ред. И.А.Бондаренко. – М.: КомКнига, 2007. – 233 с.
3. Крживоблодский, Я. Географо-статистический словарь Российской империи / Я. Крживоблодский. – СПб., 1863. – 591 с.
4. Нащокина, М.В. Развитие городов Верхневолжья во второй половине XIX – начале XX века / М.В. Нащокина // Градостроительное искусство: новые материалы и исследования. Вып.2; отв. ред. И.А.Бондаренко. – М.:Едиториал УРСС, 2010. – 307 с.
5. Шумилкин, С.М. Торговые центры европейской части России второй половины XIX – начала XX в. / С.М. Шумилкин. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2013. – С. 15–17.
6. Лисицына, А.В. Благотворительные учреждения купцов Бугровых, построенные архитектором Н.А. Фрелихом / А.В. Лисицына // Приволжский научный журнал. – 2012. – № 1 (21). – 101 с.
7. ГАКО. Об устройстве И.Тихомировым каменного здания пассажа в городе Кинешме // 1909. Ф. 137. Оп3. Ед.хр. 6134.
8. ГАКО. Об устройстве в г. Кинешме корпуса каменных лавок // 1888. Ф.137. Оп.1. Ед. хр. 839.
9. ГАКО. О постройке и возобновлении общественных зданий и торговых помещений в г. Кинешме // 1888. Ф.137. Оп. Ед.хр.1037.

References

1. Semenov, P.P. Geographical and statistical dictionary of Russian Empire / P.P. Semenov-Tien Shan. – SPb., 1885. – T. IV. – 586 p.
2. Mgelski, V.M. Tradition of the Church «na Torgu» in Russian provincial town planning of the new time / V.M. Mgelski // Urban art: New materials and research. Vol.1; Ed. edited by Igor A. Bondarenko. – M.: Komkniga, 2007. – 233 p.
3. Krzywoblocki, J. Geographical and statistical dictionary of Russian Empire / J. Krzywoblocki. – SPb., 1863. – 591 p.
4. Nashchokina, M.V. Development of the cities of the Upper Volga region in the second half of XIX – early XX century / M.V. Nashchokina // Urban art: New materials and research. Vol.2; ed. edited by Igor A. Bondarenko. – M.: Editorial URSS, 2010. – 307 c.
5. Shumilkin, S.M. Shopping centers of the European part of Russia in the second half of XIX – early XX century / S.M. Shumilkin. – Nizhny Novgorod: NNGASU, 2013. – P.15–17.
6. Lisitsyna, A.V. Charity homas of merchants Bagrovy, built by the architect N. Frohlich / A.V. Lisitsyna // Privolzhsky scientific journal. – 2012. – No. 1 (21). – 101 p.
7. GAKO. About the building by I. Tikhomirov stone building arcade in Kineshma // 1909. F. 137. Оп3. Ed.XP. 6134.
8. GAKO. About the building in Kineshma lines of the stone stalls // 1888. F. 137. Op.1. Ed. XP. 839.
9. GAKO. On the construction and renewal of public buildings and commercial premises V. city of Kineshma // 1888. F. 137. Op. Ed.XP.1037.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 339.138

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

Резник Галина Александровна,
доктор экономических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Маркетинг и
экономическая теория»
E-mail: reznikga@gmail.com

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Reznik Galina Aleksandrovna,
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Head of Department «Marketing and
economic theory»
E-mail: reznikga@gmail.com

МАРКЕТИНГ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ: РЕАЛИИ ВРЕМЕНИ

Г.А. Резник

Раскрываются особенности современного строительного комплекса, сущность взаимоотношений между его субъектами, сформировавшихся в современных условиях под влиянием факторов внешней среды. Отмечена роль современных информационных и инновационных технологий в развитии процесса управления в организации. Показана роль маркетинга взаимодействия как перспективной концепции формирования долгосрочных отношений между участниками строительного комплекса.

Ключевые слова: строительный комплекс, особенности взаимоотношений, маркетинг взаимодействия, партнерские отношения

MARKETING OF INTERACTION IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY: TIME REALITIES

G.A. Reznik

The article describes the characteristic features of a modern building complex, the essence of the relations between the parties, formed in modern conditions under the influence of environmental factors. The role of modern information and innovative technologies in the development management process in the organization is mentioned. The role of marketing interaction, as the vision of forming long-term relationships between participants of the construction industry is shown.

Keywords: construction sector, interaction, interaction marketing, partnerships

Введение

Строительный комплекс – один из межотраслевых хозяйственных комплексов, который представляет собой совокупность отраслей материального производства и проектно-изыскательских работ, обеспечивающих воспроизводство основных фондов.

Строительный комплекс осуществляет весь цикл работ по созданию строительных объектов – от проектирования до ввода их в действие, с необходимыми для этого строительной базой и производством различных видов материальных ресурсов.

В состав строительного комплекса входят строительные организации, предприятия по производству строительных материалов (включая производство строительного стекла и санитарно-технического оборудования), промышленные предприятия по производству строительных конструкций (сборный железобетон, конструкции из металла и дерева).

Теоретический анализ

Сфера строительного бизнеса характеризуется целым рядом специфических признаков, обусловленных тем, что предприятия строительной индустрии при своей многочисленности территориально разбросаны. Работа многих из них носит временный и сезонный характер. При этом функционирование строительных организаций отличается высокой мобильностью и оперативная дислокация в соответствии с полученным портфелем заказов. Соблюдение строгой последовательности технологических процессов капитального строительства и отделочных работ предполагает достаточно широкий перечень услуг в рамках аутсорсинга, начиная от монолитных, строительномонтажных, отделочных работ, внутреннего дизайна и заканчивая электроснабжением, телефонизацией, радиофикацией, дизайном, благоустройством, монтажом охранных систем. Отраслевые факторы во многом определяют внешние условия деятельности предприятия, характер отношений экономических субъектов.

Экспериментальная часть

Весь перечисленный спектр видов деятельности определяет не только особенности строительной сферы, но и формируют круг экономических субъектов, которых можно классифицировать по стадиям жизненного цикла всего процесса строительства (см. таблицу).

Экономические субъекты в сфере строительства по стадиям жизненного цикла

Стадия жизненного цикла	Экономические субъекты
Проектирование	Заказчики, проектировщики и т.п.
Подготовительная стадия	Организации, отвечающие за поставку материалов, оборудования и т.п.
Начало производства или использования	Генподрядчики, субподрядчики, специализированные организации др.
Сопровождение	Отдел логистики, дополнительные службы и т.п.
Эксплуатация	Пользователи

Адаптация организаций к изменениям внешней среды требует от нее систематической оценки и корректировки своих целей в соответствии с переменами внешней среды и самой организации, перспективами её развития. Ориентированность на изменения делает современные организации максимально гибкими, позволяющими в наиболее короткие сроки трансформировать основные структурные и технологические процессы в зависимости от окружающей среды и тех факторов, которые диктуют рыночные отношения и процессы, происходящие в экономике в определенный момент времени.

Эти изменения в деятельности современной строительной организации под влиянием факторов внешней среды обусловили новые подходы к ее управлению, необходимость выстраивания долговременных отношений на основе использования инструментов маркетинга взаимоотношений.

В современном мире, особенно в последние годы, широкое распространение получают цифровые информационные технологии. Быстрый рост информационных технологий способствует ускорению обмена информацией с использованием различных коммуникационных технологий.

То, что каждый человек всегда имеет при себе сотовый телефон, уже стало нормой и неотъемлемой частью нашей жизни. Это значительно ускоряет обмен информацией между сотрудниками компании. Многие современные организации предоставляют своим работникам корпоративную связь, чтобы обеспечить обмен необходимой информацией в короткие сроки, что ускоряет производственный процесс.

Развитие информационных технологий, способствуя ускорению обмена информацией, создает совершенно новую основу для обеспечения коммуникаций между подразделениями предприятия.

Использование информационных технологий руководители связывают с повышением производительности управленческого труда, экономией времени, снижением ошибок в управлении, освобождением сотрудников от рутинной работы и высвобождением времени для интеллектуальной деятельности, повышением квалификации и профессиональной грамотности управленцев. Кроме этого, создаются предпосылки для сокращения времени и затрат труда на планирование и прогнозирование строительно-монтажных работ, проведения сметных и технико-экономических расчетов, анализа финансового состояния и финансовых результатов деятельности строительной организации, составления различных форм отчетности, а также расширяются возможности в сфере маркетинга, во взаимодействии с заказчиками по отдельным видам строительных работ. Перечисленные выше преимущества, как следствие, сопровождаются увеличением объемов производства и выручки, снижением издержек и ростом прибыли, получаемой строительными организациями.

Внедрение информационных технологий в производственную деятельность делает современные организации максимально гибкими, позволяющими в наиболее короткие сроки перетрансформировать основные структурные и технологические процессы в зависимости от окружающей среды и тех факторов, которые диктуют рыночные отношения и процессы, происходящие в экономике в определенный момент времени. Ориентация на изменения открывает широкие возможности для разработки новых инструментов и механизмов управления.

Эффективность взаимодействия субъектов, входящих в состав строительного комплекса, зависит прежде всего от наличия общей цели либо от рассогласованности целей субъектов, участвующих в этом процессе. Очевидно, что оно должно осуществляться на базе формирования долгосрочных отношений и предполагает управление взаимодействием субъектов. Оптимизация взаимодействия направлена, в первую очередь, на установление рациональных связей и взаимозависимостей между субъектами. В условиях усиливающейся конкурентной борьбы взаимоотношения с партнерами стали важным направлением деятельности организации и предметом исследования ученых-маркетологов.

Маркетинг взаимодействия, теоретические аспекты которого были описаны шведскими учеными в 80-х годах прошлого столетия, представляет собой наиболее совершенную философию ведения бизнеса, наилучшим образом адаптированную к современным условиям развития рынка.

Основная идея его состоит в том, что объектом управления становятся отношения (коммуникации) с покупателем и другими участниками процесса купли-продажи.

Прогрессивность концепции маркетинга взаимодействия подтверждается тем, что продукты все больше становятся стандартизированными, а услуги унифицированными, что приводит к формированию повторяющихся маркетинговых решений. Поэтому единственный способ удержать потребителя (клиента) – это индивидуализация отношений с ним, что возможно на основе развития долгосрочного взаимодействия партнеров. В этом контексте отношения становятся важнейшим ресурсом, которым владеет компания, наряду с материальными, финансовыми, информационными, человеческими и т.п. ресурсами.

Отношения как результат эффективного взаимодействия становятся продуктом, в котором интегрированы интеллектуальный и информационный ресурсы – главные факторы непрерывности рыночных отношений.

Предпосылки к разработке комплексного механизма координации процессов управления взаимоотношениями в российских компаниях начали формироваться в середине девяностых годов прошлого столетия, когда обозначилась отчетливая тенденция перехода компаний от вертикальной интеграции к более гибким формам организации управления. Возникла потребность во все большей координации между деятельностью разных компаний, проявилась тенденция роста аутсорсинга: все большая часть деятельности компаний стала выноситься за ее пределы и количество внешних отношений резко возросло.

Так, анализ применения аутсорсинга на строительных предприятиях Пензенского региона показал, что наиболее распространенной его формой является передача на исполнение различных видов работ (услуг) независимым коммерческим структурам; среди них:

- разработка инвестиционной программы строительства: задание на проект; проектно-сметная документация; согласование с заказчиком;
- закупки стройматериалов и управление поставками;
- маркетинговые исследования рынка недвижимости;
- логистика;
- бухгалтерский учет;
- управление персоналом;
- анализ объекта и условий строительства;
- материально-техническое снабжение: определение сводной потребности в строительных ресурсах, организация закупок, складирование и доставка грузов на строительную площадку;
- организация строительного производства;
- использование инновационных технологий строительства;
- организация сдачи готового строительного объекта;
- продажа объекта недвижимости;
- контроль хода выполнения работ и др. [5].

Специфика аутсорсинга на рынке строительных услуг заключается в том, что любая строительная организация может принимать взвешенные решения по использованию услуг сторонних организаций для более качественного исполнения заказа, сокращения совокупных затрат и сроков.

Рост конкуренции на внутренних и внешних рынках также вызвал необходимость поиска новых форм организации управления.

Эти изменения определили необходимость формирования новой модели управления компанией, которая была бы способна увязать весь комплекс взаимоотношений со всеми бизнес-партнерами.

Управление взаимоотношениями с партнерами – это процесс формирования, поддержки и развития долгосрочных отношений с партнерами для достижения взаимовыгодных целей путем обмена рыночными ценностями и взаимного выполнения обязательств.

Главная задача управления взаимоотношениями компании состоит в том, чтобы на основе современной теории и практики маркетинга взаимоотношений найти наиболее эффективные для данной компании формы взаимодействия со всеми своими деловыми партнерами [3].

Известный специалист по маркетингу профессор Филип Котлер использует широкий подход к определению маркетинга взаимоотношений, понимая под ним практику «построения долгосрочных взаимовыгодных взаимодействий с ключевыми рыночными партнерами компании (покупателями, поставщиками, дистрибьюторами и др.) в целях установления длительных привилегированных отношений. Маркетинг взаимоотношений направлен на установление тесных экономических, технических и социальных связей с партнерами» [1].

Наряду с потребителями, автор выделяет три ключевые группы партнеров: сотрудников компании, маркетинговых партнеров (каналы распределения, поставщики,

дистрибьюторы, дилеры, различные агентства) и членов финансового сообщества (акционеры, инвесторы, аналитики).

В научной литературе концепция маркетинга взаимоотношений сопоставляется с традиционной концепцией маркетинга «4Р», в соответствии с которой, маркетинг – управление набором инструментов, сфокусированных на производство. Действие концепции имеет однонаправленный характер – от компании к потребителю, при этом маркетинговая функция компании ориентирована только на максимизацию прибыли.

В отличие от концепции «4Р», концепция маркетинга взаимоотношений сфокусирована на изучении природы взаимоотношений компании с потребителями, поставщиками, конкурентами и другими заинтересованными сторонами; сущность концепции состоит в достижении долгосрочных конкурентных преимуществ и в максимальном удовлетворении потребителей.

Результаты

Таким образом, маркетинг взаимоотношений – это направление маркетинга, основной идеей которого является создание долгосрочных и взаимовыгодных отношений с партнерами. В современной ситуации эффективность деятельности компании во многом зависит от взаимодействия с партнерами на различных сегментах рынка.

Однако организовать эффективное взаимодействие с партнерами достаточно сложно: вокруг каналов сбыта существует конкуренция между поставщиками, которые часто переманивают партнеров друг у друга.

Для того чтобы более эффективно управлять взаимоотношениями с деловыми партнерами, руководство компании должно использовать определенные инструменты и принципы. Чем крупнее предприятие, тем большее количество управленческих инструментов требуется его руководителю. Главная цель управления взаимоотношениями – превращение клиента в партнера.

С развитием информационных технологий стало возможным отслеживание всех транзакций, связанных с определенным партнером, что дало толчок развитию специальных инструментов – программных продуктов.

Они используются для управления взаимоотношениями с поставщиками, потребителями, партнерами и управления взаимоотношениями в цепочке поставок.

Инструменты управления взаимоотношениями компании с деловыми партнерами [2]:

- ✓ SRM – управление взаимоотношениями с поставщиками;
- ✓ CRM – управление взаимоотношениями с потребителями;
- ✓ SCM – управление цепочками поставок;
- ✓ PRM – управление взаимоотношениями с партнерами.

В теории и практике маркетинга и менеджмента уже достаточно широко изучены два инструмента управления взаимоотношениями промышленной компании: управление взаимоотношениями с поставщиками (SRM – Supplier Relationship Management); управление взаимоотношениями с потребителями (CRM – Customer Relationship Management).

В последние годы большое внимание уделяется исследованию управления цепочками поставок (SCM – Supply Chain Management).

Системы SCM предназначены для автоматизации и управления всеми этапами снабжения предприятия и для контроля всего товародвижения на предприятии. Система SCM позволяет лучше удовлетворить спрос на продукцию компании и значительно снизить затраты на логистику и закупки. В научной литературе все чаще используется термин «промышленный маркетинг», который подразумевает комплексное управление взаимоотношениями со всеми партнерами с ориентацией на конечного потребителя.

Промышленный маркетинг и SCM являются составляющими процесса управления взаимоотношениями компании и их нельзя рассматривать изолированно. Становится очевидной необходимость разработки механизма координации этих двух составляющих управления взаимоотношениями компании, направленного на максимальное согласование всех взаимодействий участников цепочки создания ценности – от постав-

щиков до конечных потребителей. Вместе с тем в процессе развития взаимодействий современных компаний пересечение сфер промышленного маркетинга и SCM расширяется. Управление взаимоотношениями с поставщиками становится неотъемлемой составляющей современного промышленного маркетинга [4].

С увеличением числа холдинговых структур, а также компаний с развитой партнерской сетью, возникает необходимость повышения эффективности взаимоотношений не только с клиентами и поставщиками, но и выстраивания сложных систем взаимодействия партнеров. Партнерствами необходимо правильно управлять. Поэтому в последнее десятилетие начали появляться специальные приложения и концепции по управлению взаимоотношениями с партнерами – PRM (Partner Relationship Management). PRM – это бизнес-стратегия по выбору партнеров и управлению взаимоотношениями с ними с целью повышения их эффективности и ценности для предприятия.

По идее, PRM идентична с CRM и может считаться ее эволюционным развитием, так как одна из основных идей CRM – переход клиента в партнера компании. В свою очередь, PRM включает в том числе и выстраивание оптимальной стратегии по управлению взаимоотношениями с клиентами.

В частности, PRM включает оптимизацию работы с партнерами для достижения ими лучшего результата в сделках с общими клиентами и обеспечение в итоге удовлетворенности конечного потребителя и партнера. Совместное создание уникальной ценности продукта невозможно без формирования системы принципов управления взаимоотношениями с деловыми партнерами и непрерывного полноценного контакта поставщика и потребителя.

Сущность управления взаимоотношениями с партнерами раскрывается через следующие принципы:

- 1) прозрачность деятельности компании для всех деловых партнеров;
- 2) ориентация деятельности предприятия на долговременную перспективу эффективных коммуникаций на основе осуществления стратегического планирования и прогнозирования поведения товаров на рынке;
- 3) доступность и оперативность в предоставлении достоверной информации для деловых партнеров;
- 4) индивидуальный подход и сотрудничество (приспособление к требованиям партнеров с одновременным целенаправленным воздействием на них в рамках тактики и стратегии);
- 5) клиентоориентированность (достижение сбалансированности интересов компании и удовлетворенности деловых партнеров).

Таким образом, система управления взаимоотношениями с деловыми партнерами – это совокупность действий, определяющих направление управленческой деятельности по выбору партнеров и установлению взаимоотношений с ними с целью повышения их эффективности и ценности для предприятия. Преимущества, которые получит предприятие от внедрения данной системы: постоянное высокое качество обслуживания партнеров, отличие от конкурентов, расширение возможностей для повышения доходов и укрепления лояльности клиентов.

Список литературы

1. Котлер, Ф. Маркетинг менеджмент. Экспресс-курс / Ф. Котлер; пер. с англ. под ред. С.Г. Божук. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 464 с.: ил.
2. Неретина, Е.А. Управление взаимоотношениями с потребителями образовательных услуг в сфере высшего профессионального образования: монография / Е.А. Неретина, Т. Г. Соловьев. – М.: ИНФРА-М, РИОР, 2014.
3. Резник, Г.А. Маркетинг партнерских взаимоотношений органов местного самоуправления / Г.А. Резник, К.А. Булюкина // Журнал научных и прикладных исследований. – 2016. – Т. 2. – № 4. – С. 75–79.

4. Резник, Г.А. CRM как новая функциональная форма внутрифирменной координации производственного предприятия / Г.А. Резник, Л.С. Парамонова // Траектория науки. – 2016. – Т. 2. – № 6 (11). – С. 2.

5. Резник, Г.А. Социально-экономический потенциал региона: сущность и методологические подходы к исследованию / Г.А. Резник, Н.А. Коробкова // Экономика и предпринимательство. – 2013. – № 7 (36). – С. 153–156.

References

1. Kotler, F. Marketing Menagement. Ex press course / F. Kotler; per. from English. under the editorship of S.G. Bobeetle. – 2-e Izd. – SPb.: Peter, 2006. – 464: Il.

2. Neretina, E.A. Management of relations with consumers of educational services in the sphere of higher professional education : monograph / E.A. Neretina, T.G. Soloviev. – Мю: INFRA-M, RIOR, 2014.

3. Reznik, G.A. Marketing of local authorities partnerships / G.A. Reznik, K.A. Burukina // Journal scientific and applied research. – 2016. – Vol. 2. – No. 4. – P. 75–79.

4. Reznik, G.A. CRM as a new functional form of intra-company coordination of business company / G.A. Reznik, L.S. Paramonova // Path of science. – 2016. – Т. 2. – № 6 (11). – P. 2.

5. Reznik, G.A. Socio-economic potential of the region: essence and methodological approaches to the study / G.A. Reznik, N.A. Korobkova // Economics and entrepreneurship. – 2013. – № 7 (36). – P. 153–156.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Учаева Татьяна Владимировна,
кандидат экономических наук
доцент кафедры «Экономика, организация
и управление производством»
E-mail: uchaevatv@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Uchaeva Tatiana Vladimirovna,
Candidate of Economics, Associate Professor
of the department «Economics, Organization
and Management»
E-mail: uchaevatv@mail.ru

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОРОТНОГО КАПИТАЛА КАК ФАКТОР УЛУЧШЕНИЯ ФИНАНСОВО- ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Т.В. Учаева

Приведены результаты анализа оборотных средств предприятия промышленности строительных материалов, даны рекомендации по повышению эффективности использования оборотных средств, а также по применению наиболее выгодных способов их учета, влияющих на скорость и величину формируемых финансовых результатов деятельности предприятия.

Ключевые слова: оборотные средства, финансовые результаты, предприятия промышленности строительных материалов, коэффициенты оборачиваемости, управление оборотными средствами

EFFECTIVE USE OF WORKING CAPITAL AS A FACTOR OF IMPROVEMENT OF FINANCIAL AND ECONOMIC OPERATIONS OF BUILDING MATERIALS INDUSTRY

T.V. Uchaeva

This article analyzes the current assets of the industry of building materials. Recommendations are made to improve the efficiency of working capital, as well as the use of the most profitable ways to take them into account, affecting the speed and magnitude of the formed entity's financial performance.

Keywords: financial results, company building materials industry, turnover ratios, working capital management

Любое предприятие в своей производственно-хозяйственной деятельности использует оборотные средства (рис. 1), которые нуждаются в экономном и рациональном использовании. Это является первоочередной задачей, стоящей перед руководством предприятия.

Эффективно используемые оборотные средства являются важным критерием в стабильном функционировании предприятия промышленности строительных материалов. Это может быть достигнуто при рациональном расходовании средств, имеющихся у предприятия. Если оборотные активы используются экономично, то высвобождающиеся при этом ресурсы способствуют финансовому укреплению субъекта хозяйствования.

Для более эффективного управления средствами, которыми обладает организация, необходимо знать их состав и структуру. С этой целью предприятию необходимо постоянно проводить анализ [1] имеющихся оборотных средств, следить за их составом, динамикой изменения, оборачиваемостью и разрабатывать меры по эффективному использованию оборотных средств.

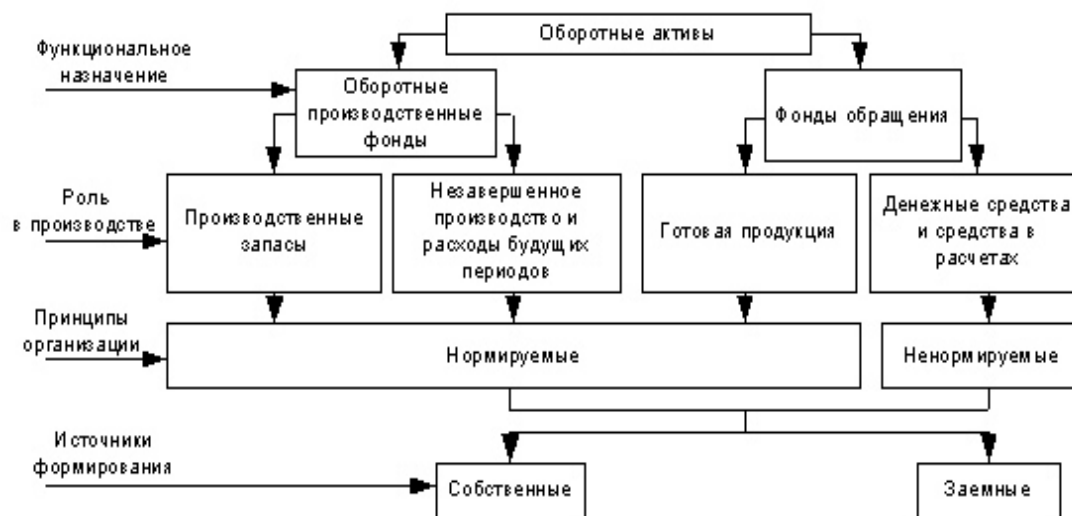


Рис. 1. Классификация оборотных средств предприятия

Анализ оборотных средств может начинаться с горизонтального и вертикального анализа групп и отдельных статей, составляющих оборотные средства. Целесообразно произвести расчет темпов роста, прироста – цепных и базисных – за период 3–7 лет. Такое исследование позволяет оценить динамику оборотных средств, их структуру, определить тенденции изменения, спрогнозировать значение показателей на ближайшую перспективу, скорректировать содержание мероприятий по достижении стратегических целей.

Был проведен анализ оборотных средств предприятия промышленности строительных материалов ООО «Строительные материалы» (г.Пенза) [2]. Данные горизонтального анализа оборотных средств представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Изменение составляющих оборотных средств за 2013–2015 годы

Состав оборотных средств	Значение 2013	Значение 2014	Значение 2015	Абсолютное изменение 2014 к 2013	Абсолютное изменение 2015 к 2014	Темп роста, % 2014 к 2013	Темп роста, % 2015 к 2014
Запасы	37920	28393	18447	-9527	-9946	74,8	64,97
НДС	541	562	499	21	-63	103,88	88,79
Дебиторская задолженность	45916	59594	43635	13678	-15959	129,78	73,22
Финансовые вложения	3863	29068	15070	25205	-13998	752,47	51,84
Денежные средства и денежные эквиваленты	3128	3714	2551	586	-1163	118,73	68,68
Прочие оборотные активы	101	67	47	-34	-20	66,33	70,14
Итого	91469	121398	80249	29929	-41149	132,72	66,1

Как видно из данных таблицы, оборотные средства предприятия в 2014 году имели тенденцию увеличения по сравнению с 2013 годом. В первую очередь, увеличение произошло за счет:

- дебиторской задолженности на 13678 тыс.руб., или на 29,78 %;
- финансовых вложений на 25205 тыс.руб.;
- денежных средств и денежных эквивалентов на 586 тыс.руб., или на 18,73 %;

Остальные показатели имели тенденцию уменьшения.

В 2015 году общая сумма оборотных активов предприятия уменьшилась по сравнению с 2014 годом, абсолютно все показатели снизились на несколько пунктов. Уменьшились запасы предприятия на 9946 тыс.руб. (35,1 %), сократилась дебиторская задолженность на 26,8 %, денежные средства уменьшились на 1163 тыс.руб. Наглядно изменения оборотных средств по годам представлено на рис. 2.

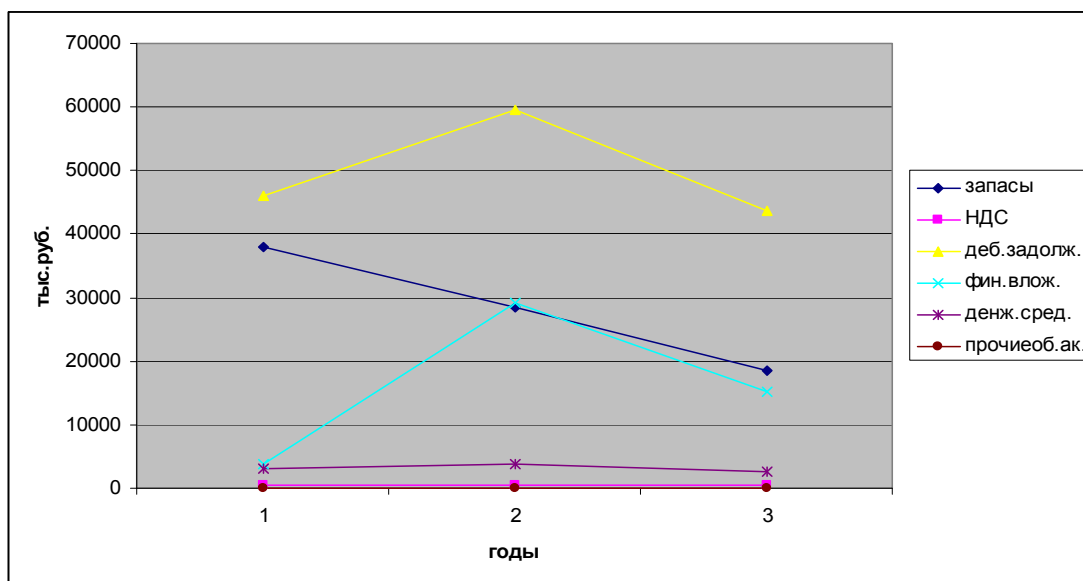


Рис. 2. Изменение составляющих оборотных средств за 2014–2015 годы

Для выявления структуры оборотных средств предприятия был проведен вертикальный анализ (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Структура оборотных средств предприятия за 2013–2015 годы

Состав оборотных средств	Удельный вес, % 2013	Удельный вес, % 2014	Удельный вес, % 2015	Изменение 2014 к 2013	Изменение 2015 к 2014
Запасы	41,45667	23,38836	22,9872	-18,0683	-0,40116
НДС	0,591457	0,46294	0,621815	-0,12852	0,158875
Дебиторская задолженность	50,19843	49,08977	54,37451	-1,10866	5,284739
Финансовые вложения	4,223289	23,94438	18,77905	19,72109	-5,16533
Денежные средства и денежные эквиваленты	3,419738	3,059358	3,178856	-0,36038	0,119497
Прочие оборотные активы	0,11042	0,05519	0,058568	-0,05523	0,003377
Итого	100	100	100		

Анализ данных таблицы показывает, что в 2013 году наибольший удельный вес в составе оборотных средств предприятия имеют дебиторская задолженность (50,2 %) и запасы (41,5 %). Остальные составляющие имеют небольшое значение.

В 2014 году структура оборотных средств предприятия немного изменяется, но главные составляющие остались те же:

- дебиторская задолженность немного уменьшилась (на 1,1 %) и составила 49,1 %;
- запасы сократились на 18,1 %.

В этом периоде возрастает удельный вес финансовых вложений предприятия – с 4,2 % до 23,9 %.

В 2015 году запасы предприятия снижаются на 0,4 % и составляют 22,9 % всех оборотных средств предприятия. Происходит рост дебиторской задолженности на 5,3 %.

Наглядно структура оборотных средств предприятия по годам представлена на рис. 3–5.

Большое количество запасов за рассматриваемый период свидетельствует о излишнем затоваривании предприятия. Высокое значение удельного веса дебиторской задолженности на протяжении анализируемого периода говорит о неэффективной работе предприятия с дебиторами. Используя методы по сокращению дебиторской задолженности [3] и эффективному планированию запасов [4], можно ускорить оборачиваемость оборотных средств.

Ускорение оборачиваемости способствует сокращению потребности в оборотных средствах (абсолютное высвобождение), приросту объемов продукции (относительное высвобождение), увеличению получаемой прибыли, что создает условия для улучшения финансовой и производственной деятельности предприятия.

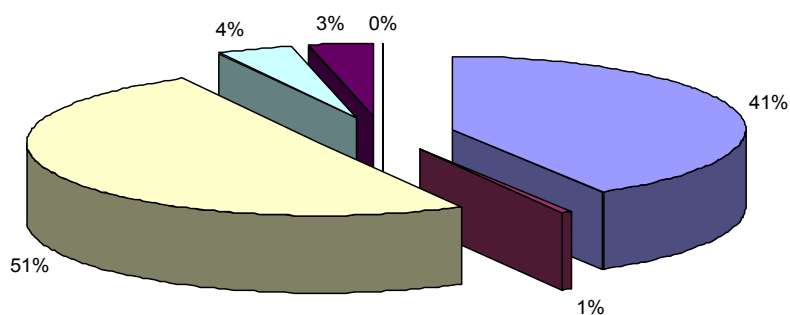


Рис. 3. Структура оборотных средств предприятия за 2013 год

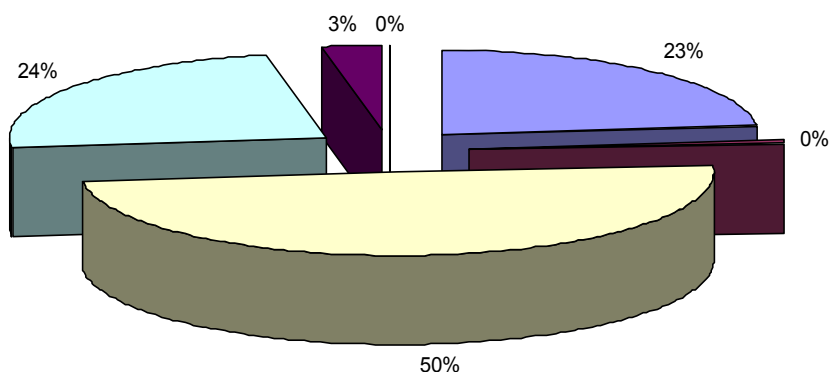


Рис. 4. Структура оборотных средств предприятия за 2014 год

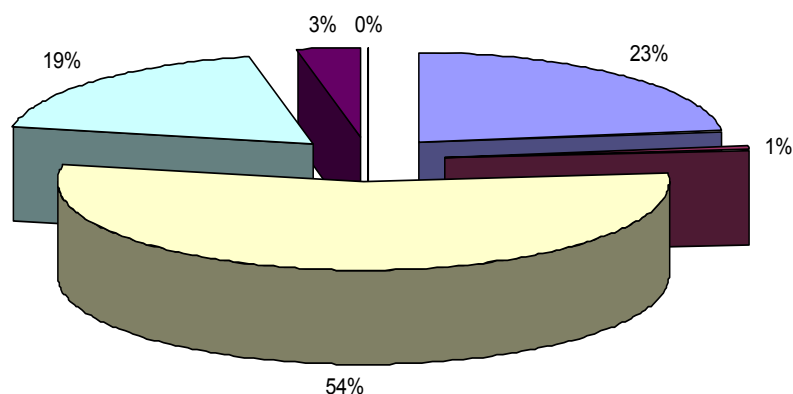


Рис. 5. Структура оборотных средств предприятия за 2015 год

Для оценки эффективности использования оборотных средств на предприятии были рассчитаны показатели, представленные в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Динамика изменения показателей эффективности использования оборотных средств за 2013–2015 годы

№ п/п	Показатели	2013	2014	2015	Динамика	
					2014-2013	2015-2014
1	2	3	4	5		
1	Выручка (нетто) от продаж, руб.	165804	152971	164555	-12833	11584
2	Число дней в отчетном периоде	365	365	365	-	-
3	Однодневный оборот по продажам (однодневная реализация), тыс. руб. (п.01/п.02)	460,6	424,9	457,1	-35,6	32,2
4	Средняя стоимость оборотных средств, тыс. руб.	91469	121398	80249	29929	-41149
5	Коэффициент оборачиваемости оборотных средств (п.01/п.04)	1,8	1,3	2,1	-0,5526	0,8
6	Коэффициент закрепления оборотных средств (п.04/п.01)	0,6	0,8	0,5	0,2	-0,3
7	Длительность одного оборота средств в днях (п.04/п.03)	198,6	285,7	175,6	87,1	-110,1
8	Запасы, тыс.руб.	37920	28393	18447	-9527	-9946
9	Дебиторская задолженность, тыс. руб.	45916	59594	43635	13678	-15959
10	Коэффициент оборачиваемости запасов	4,4	5,4	8,9	1	3,5
11	Коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности	3,6	2,6	3,8	1	1,2
12	Оборачиваемость запасов, дни	82,3	66,8	40,4	-15,5	-26,8
13	Оборачиваемость дебиторской задолженности, дни	99,7	140,2	95,5	40,5	-44,7

Анализ рассчитанных коэффициентов показал следующее. Коэффициент оборачиваемости оборотных средств, показывающий число оборотов, совершенных оборотными средствами за отчетный период, имеет наибольшее значение в 2015 году. В этом периоде предприятие смогло наиболее эффективно использовать оборотные средства в процессе производства продукции, что подтверждается ростом выручки в данном периоде.

Длительность одного оборота средств – это время, в течение которого оборотные средства возвращаются в денежную форму: наименьшее значение показатель имеет в 2015 году – 175,6 дней. Можно сказать, что за год предприятие использовало оборотные средства дважды, тем самым увеличивая выручку. В 2013–2014 годах

длительность оборота имеет большее значение – 198,6 дней и 285,7 дней соответственно, т.е. в данный период оборотные средства предприятия проходили более длительной срок возврата в денежные средства.

Анализ коэффициента закрепления оборотных средств за 2013–2015 годы показал следующее: в 2013 году 0,6 суммы оборотных средств приходилось на один рубль выручки от продаж, в 2014 г. – 0,8, в 2015 г. – 0,5. Наименьшее значение показателя наблюдалось в 2015 году, значит, в данный период оборотные средства использовались намного эффективнее.

Коэффициент оборачиваемости запасов повышался с каждым годом; в 2015 году значение коэффициента максимальное – 8,9. Предприятие в этом году получило выручку в 8,9 больше стоимости запасов. Оборачиваемость запасов в 2015 году имеет наименьшее значение (40,4 дней), значит, предприятие имело возможность использовать запасы в течение года более 9 раз.

Коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности показывает, сколько раз оборачивается дебиторская задолженность в течение года в денежные средства. Максимальное значение наблюдалось в 2015 году – 3,8.

Оборачиваемость задолженности в 2015 г. составила 95,5 дней. Это наименьшее значение за анализируемый период. За данное время (дни) предприятие получало оплату за проданные товары (работы, услуги) от своих покупателей.

Исходя из анализа вышеприведённых коэффициентов, можно сделать вывод, что в 2015 году предприятие ООО «Строительные материалы» наиболее эффективно использовало в своей деятельности оборотные активы.

С целью сохранения положительной тенденции предприятию ООО «Строительные материалы» стоит разработать план мероприятий по ускорению оборачиваемости оборотных средств.

План мероприятий может включать следующее:

- поиск новых рынков сбыта продукции с целью более высокого темпа роста объемов продаж по сравнению с темпом роста оборотных средств;
- разработка рациональных приемов, способов, методов организации труда с целью его совершенствования;
- улучшение условий снабжения предприятий и сбыта продукции;
- чёткая организация платёжно-расчётных отношений
- повышение качества продукции и ее конкурентоспособности [5].

Разработка и применение таких мероприятий послужит фактором максимизации прибыли, устойчивой и достаточной платежеспособности предприятия.

Список литературы

1. Учаева, Т.В. Значение анализа и оценки оборотных средств в повышении эффективности деятельности строительного предприятия / Т.В. Учаева, А.Н. Усатенко // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2016. – №4. – С.114–122.
2. Учаева, Т.В. Повышение финансового потенциала ООО «Строительные материалы» как основа повышения организационно-экономического потенциала предприятия / Т.В. Учаева, А.В. Щукарева // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2016. – №1.
3. Учаева, Т.В. Управление дебиторской и кредиторской задолженностью, как способ повышения финансовой устойчивости предприятия / Т.В. Учаева // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2016. – №6–2. – С.104–110.
4. Учаева, Т.В. Улучшение финансового состояния предприятия промышленности строительных материалов на основе эффективного управления запасами / Т.В. Учаева // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2016. – №2 (3). – С.19–23.
5. Учаева, Т.В. Способы повышения конкурентоспособности предприятий строительной промышленности пензенской области / Т.В. Учаева, Е.А. Петрова // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2015. – №1. – С.47–52.

References

1. Uchaeva, T.V. Value analysis and evaluation of current assets to increase the efficiency of the building enterprise / T.V. Uchaeva, A.N. Usatenko // Education and science in the modern world. Innovation. – 2016. – №4. – P.114–122.
2. Uchaeva, T.V. Increase of financial potential of «Building Materials» as a basis of improvement of organizational and economic potential of the enterprise / T.V. Uchaeva, A.V.Shchukareva // Vestnik PGUAS construction, science and education. – 2016. – №1.
3. Uchaeva, T.V. Management receivables and payables as a way to improve the financial stability of enterprises / T.V. Uchaeva // Education and science in the modern world. Innovation. – 2016. – №6–2. – P.104–110.
4. Uchaeva, T.V. Improving the financial condition of the enterprise industry of construction materials on the basis of effective inventory management / T.V. Uchaeva // Vestnik PGUAS construction, science and education. – 2016. – №2 (3). – P.19–23
5. Uchaeva, T.V.. Way to improve competitiveness of construction industry enterprises of the Penza region / T.V. Uchaeva, E.A. Petrova // Vestnik PGUAS construction, science and education. – 2015. – №1. – P.47–52.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Смирнова Юлия Олеговна,
доцент кафедры «Экспертиза и управление
недвижимостью»

*Московский государственный
строительный университет*

Россия, 129337, г. Москва, Ярославское
шоссе, д. 26
тел.: (8495) 781-80-07; факс: (8499) 183-44-38

Кулаков Кирилл Юрьевич,
профессор кафедры «Организация
строительства и управление
недвижимостью»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Smirnova Yuliya Olegovna,
Associate Professor of the department
«Expertise and real estate management»
Moscow state construction university

Russia, 129337, Moscow, 26, Yaroslavl
highway,
tel.: (8495) 781-80-07; fax: (8499) 183-44-38

Kulakov Kirill Yuryevich,
Professor of the department «Organization of
Construction and Management of the Real
Estate»

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ НАКОПЛЕНИЯ СРЕДСТВ НА РЕАЛИЗАЦИЮ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА

Ю.О. Смирнова, К.Ю. Кулаков

Предлагаются модели накопления средств на осуществление работ по капитальному ремонту (КР). Они позволяют описать динамику накопления, мобилизации и расходования средств на капитальный ремонт и обслуживание обязательств, возникших после финансирования капитального ремонта, а также затраты на КР из разных источников. Применение моделей ориентировано на сокращение сроков проведения и увеличение скорости накопления денежных средств. Анализ реализации предлагаемых мероприятий показывает, что при накоплении средств на КР на специальном счёте возможно увеличение размера ежемесячного взноса на КР для проведения более качественного и полномасштабного КР, реализации энергосберегающих мероприятий.

Ключевые слова: многоквартирный жилой дом, ресурсы, капитальный ремонт, модели накопления, энергетические ресурсы

ANALYSIS OF MODELS OF ACCUMULATION OF FUNDS FOR REALIZATION OF CAPITAL REPAIRS

Yu. O. Smirnova, K.Y. Kulakov

Models of accumulating of funds for implementation of works on capital repairs (CR) are offered. They allow to describe dynamics of accumulating, mobilization and expenditure of funds for capital repairs and servicing of the liabilities which arose after financing of capital repairs, and also costs for CR from different sources. Application of models is oriented to reducing terms of carrying out and increase in speed of funds accumulation. The analysis of implementation of the offered actions shows that when accumulating funds for CR on the special account increase in the size of a monthly fee at CR for carrying out better and full-scale CR, implementations of energy saving actions are possible.

Keywords: apartment house, resources, capital repairs, accumulating models, energy resources

Введение

В связи с внесением изменений в жилищный кодекс Российской Федерации в декабре 2012 обострилась проблемная ситуация, которая связана с переходом финансирования капитального ремонта из бюджетных источников на частные инвестиции и основой которой явилась массовая приватизация жилого фонда.

Авторские исследования показали, что сокращение темпов КР во многом обусловлено снижением процента бюджетного субсидирования. В настоящее время в Пен-

зенской области действует региональная программа «Капитальный ремонт общего имущества в многоквартирных домах, расположенных на территории Пензенской области». Программа рассчитана на 30 лет; прогнозируется осуществить капитальный ремонт в 5799 домах с общим объемом жилого фонда МКД 14 534 688,51 кв.м.

Основываясь на требованиях действующих нормативно-правовых документов и имеющейся российской и международной практике, нами предложены три пакета мероприятий, которые могут быть реализованы при проведении капитального ремонта многоквартирных домов, различающиеся в зависимости от решаемых задач и наличия финансовых средств на ремонт.

Основная часть исследования

В данной работе на примере многоквартирного дома мы попытались проанализировать варианты аккумулирования средств при реализации мероприятий по капитальному ремонту с целью сокращения его сроков и процесса реализации, основываясь на сценарном походе.

Чтобы накопления не обесценивались, принято предположение, что эти отчисления ежегодно индексируются, при этом индексация равна динамике индекса потребительских цен, а он, в свою очередь, равен индексу цен работ по виду деятельности «строительство». В расчётах использовалось допущение о совпадении динамики этих двух индексов и их росте с темпом, определенным для индекса потребительских цен. В рамках модели 1-ВФ сценарий №1 предусматривает использование средств, сформированных за счет обязательной платы за капитальный ремонт на отдельном банковском счете ТСЖ или управляющей организацией, для оплаты работ и услуг по проведению капитального ремонта многоквартирного дома, установленных уполномоченным федеральным органом государственной власти, а также для возврата займов (кредитов), полученных для данных видов работ (банк осуществляет операции по отдельному банковскому счету при условии одобрения уполномоченного органа субъекта РФ).

Для сценария №1 предполагается, что удельная стоимость капитального ремонта, начиная с 2016 г. (для г. Пензы) составляла 834 руб./м² (далее индексируется с учётом инфляции), бюджетная поддержка отсутствовала, и на финансирование ремонта привлекался кредит. В этом случае ТСЖ или УК в 2027 г. сможет провести повторный капитальный ремонт в период расчётного горизонта анализа, то есть на год раньше, чем в варианте взаимного финансирования. Происходит это по той причине, что в варианте взаимного финансирования на размер инфляции индексируется вся сумма обязательных платежей на весь срок, пока не будет возмещена требуемая сумма, а в варианте с самостоятельным финансированием инфляция отражается только в ставке процента, который начисляется не на всю сумму займа, а только на остаток долга за вычетом покрытия его основной части. В итоге сумма выплат оказывается на 14 % ниже, несмотря на то, что процент по кредиту на 3 процентных пункта выше инфляции. Следует признать, что ставка кредитования ИПЦ + 3 % представляется предельно оптимистичной, поскольку в модели 1-ВФ не предложено никаких механизмов снижения рисков кредитования ТСЖ или управляющих компаний. Для целей проведения количественного анализа моделей КР МКД для каждой из них были разработаны математические модели, описывающие характеристики финансовых потоков при ремонте жилого здания. Поскольку многие параметры расчетов на перспективу не определены, в работе использовался сценарный анализ.

Расчетный горизонт анализа – 2014–2044 годы. При этом более высокая стоимость КР говорит о лучших целевых результатах, достигаемых моделью. Важным элементом анализа являются параметры исходного размера обязательных ежемесячных отчислений на КР. Постановление Правительства Пензенской области установило размер минимального взноса на КР в размере 7,1 руб. в месяц на один квадратный метр общей площади помещения в МКД.

Расчетная часть исследования

В расчётах использовалось допущение о совпадении динамики индекса потребительских цен и индекса цен работ по виду деятельности «Строительство» и их роста с темпом, определенным для индекса потребительских цен.

Для сценария №1 предполагается, что удельная стоимость КР составляет 847 руб./м², бюджетная поддержка отсутствует, и на финансирование ремонта привлекается кредит. В этом случае ТСЖ сможет расплатиться по кредиту в 2026 г. и провести повторный КР в период расчётного горизонта анализа (табл. 1, рис. 1).

Т а б л и ц а 1

Динамика основных показателей для МКД,
самостоятельно использующих накопления на КР (сценарий №1)

Год	Обязательная плата	Плата граждан	Накопленные средства	Доход на накопления	Необходимые расходы на КР	Расходы на КР	Заем	Возврат займа	Оплата процентов	Всего обслуживание займа
	руб./м ² / мес.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2014	6,60	157,22	164	6,60	1 681	0	0	0	0	0
2015	6,90	165,32	343	13,50	1 767	0	0	0	0	0
2016	6,90	173,66	416	16,40	1 857	1 857	1 441	0	117	117
2017	7,29	181,28	369	12,10	1 939	0	1 297	144	96	240
2018	7,61	187,71	345	8,80	2 009	0	1 153	144	76	220
2019	7,88	194,38	337	8,50	2 081	0	1 009	144	67	211
2020	8,16	201,05	347	8,10	2 152	0	865	144	55	199
2021	8,44	207,96	374	8,80	2 225	0	721	144	46	190
2022	8,73	215,11	418	9,80	2 301	0	576	144	37	181
2023	9,03	222,25	480	10,80	2 377	0	432	144	27	171
2024	9,33	228,92	559	11,00	2 448	0	288	144	17	161
2025	9,61	235,59	654	12,20	2 519	0	144	144	9	153
2026	9,89	242,02	765	12,80	2 587	0	0	144	0	144
2027	10,16	247,98	932	13,80	2 652	2 652	1 720	0	95	95
2028	10,41	254,17	943	13,90	2 718	0	1 548	172	85	257
2029	10,67	260,60	970	14,30	2 786	0	1 376	172	76	248
2030	10,94	267,04	1014	15,20	2 856	0	1 204	172	66	238
2031	11,21	273,71	1075	16,10	2 927	0	1 032	172	57	229
2032	11,49	280,61	1154	17,30	3 000	0	860	172	47	219
2033	11,78	287,52	1250	18,70	3 075	0	688	172	38	210
2034	12,07	294,67	1365	20,40	3 152	0	516	172	28	200
2035	12,37	302,05	1498	22,40	3 231	0	344	172	19	191
2036	12,68	309,68	1651	24,70	3 312	0	172	172	9	181
2037	13,00	317,54	1824	27,00	3 395	0	0	172	0	172
2038	13,33	325,40	2182	32,20	3 480	0	0	0	0	0
2039	13,66	333,50	2553	37,70	3 567	0	0	0	0	0
2040	14,00	341,83	2938	43,40	3 656	0	0	0	0	0
2041	14,35	350,41	3338	49,30	3 747	0	0	0	0	0
2042	14,71	359,22	3753	55,50	3 841	0	0	0	0	0
2043	15,08	368,28	4183	61,80	3 937	0	0	0	0	0
2044	15,46	377,57	4629	68,40	4 035	0	0	0	0	0

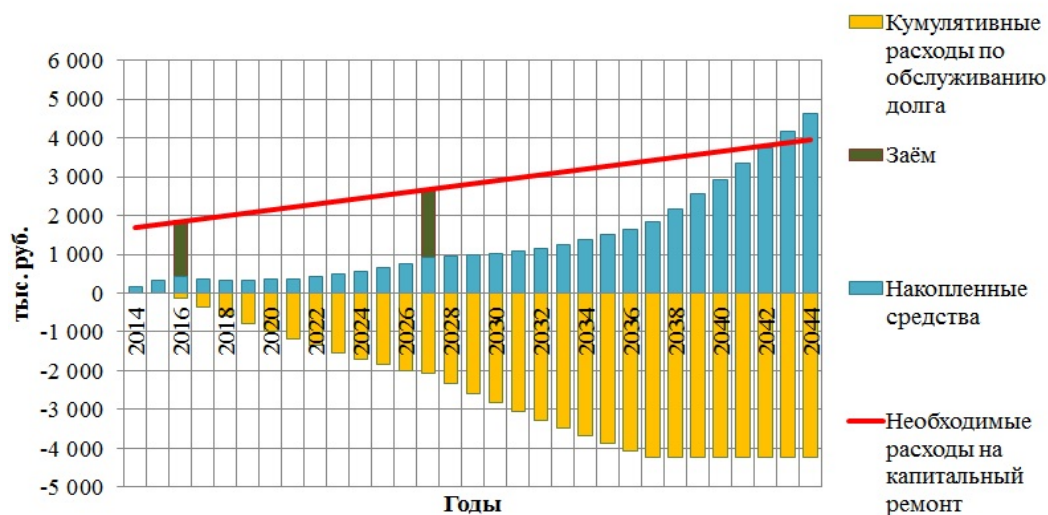


Рис. 1. Модель структуры источников финансирования и расходов на КР для МКД, самостоятельно использующих накопления на КР (сценарий №1, проведение КР в 2016, 2027 гг.)

При реализации КР с набором мер сценария №2 удельная стоимость КР составит 1439 руб./м², задолженность ТСЖ или УК сохранится до 2029 г. (табл. 2, рис. 2). Предполагается реализация КР с набором мер сценария №3, удельной стоимостью 2912 руб./м². Реализация пакета №3 становится возможной при повышенных ежемесячных взносах на КР. Экономии на коммунальных платежах собственники помещений в МКД могут использовать для погашения долговых обязательств (табл. 3, рис. 3).

Т а б л и ц а 2

Динамика основных показателей для МКД, самостоятельно использующих накопления на КР (сценарий №2, проведение КР в 2019 г.)

Год	Обязательная плата	Плата граждан	Накопленные средства	Доход на накопления	Необходимые расходы на КР	Расходы на КР	Заём	Возврат займа	Оплата процентов	Всего обслуживание займа
	руб./м ² /мес.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2014	6,60	157,22	164	6,60	2 857	0	0	0	0	0
2015	6,90	165,32	343	13,50	3 002	0	0	0	0	0
2016	6,90	173,66	538	21,20	3 155	0	0	0	0	0
2017	7,29	181,28	744	24,40	3 294	0	0	0	0	0
2018	7,61	187,71	956	24,20	3 413	0	0	0	0	0
2019	7,88	194,38	1009	25,60	3 536	3 536	2 527	0	167	167
2020	8,16	201,05	831	19,50	3 656	0	2 274	253	146	399
2021	8,44	207,96	673	15,80	3 780	0	2 022	253	129	382
2022	8,73	215,11	535	12,50	3 909	0	1 769	253	113	366
2023	9,03	222,25	418	9,40	4 038	0	1 516	253	96	349
2024	9,33	228,92	325	6,40	4 159	0	1 264	253	76	329
2025	9,61	235,59	253	4,70	4 280	0	1 011	253	60	313
2026	9,89	242,02	203	3,40	4 396	0	758	253	43	296
2027	10,16	247,98	173	2,60	4 506	0	505	253	28	281
2028	10,41	254,17	163	2,40	4 619	0	253	253	14	267
2029	10,67	260,60	174	2,60	4 734	0	0	253	0	253
2030	10,94	267,04	448	6,60	4 852	0	0	0	0	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2031	11,21	273,71	733	10,80	4 973	0	0	0	0	0
2032	11,49	280,61	1029	15,20	5 097	0	0	0	0	0
2033	11,78	287,52	1336	19,80	5 224	0	0	0	0	0
2034	12,07	294,67	1655	24,50	5 355	0	0	0	0	0
2035	12,37	302,05	1986	29,40	5 489	0	0	0	0	0
2036	12,68	309,68	2330	34,40	5 626	0	0	0	0	0
2037	13,00	317,54	2687	39,70	5 767	0	0	0	0	0
2038	13,33	325,40	3058	45,20	5 911	0	0	0	0	0
2039	13,66	333,50	3442	50,90	6 059	0	0	0	0	0
2040	14,00	341,83	3841	56,80	6 210	0	0	0	0	0
2041	14,35	350,41	4254	62,90	6 365	0	0	0	0	0
2042	14,71	359,22	4682	69,20	6 524	0	0	0	0	0
2043	15,08	368,28	5126	75,80	6 687	0	0	0	0	0
2044	15,46	377,57	5586	82,60	6 854	0	0	0	0	0

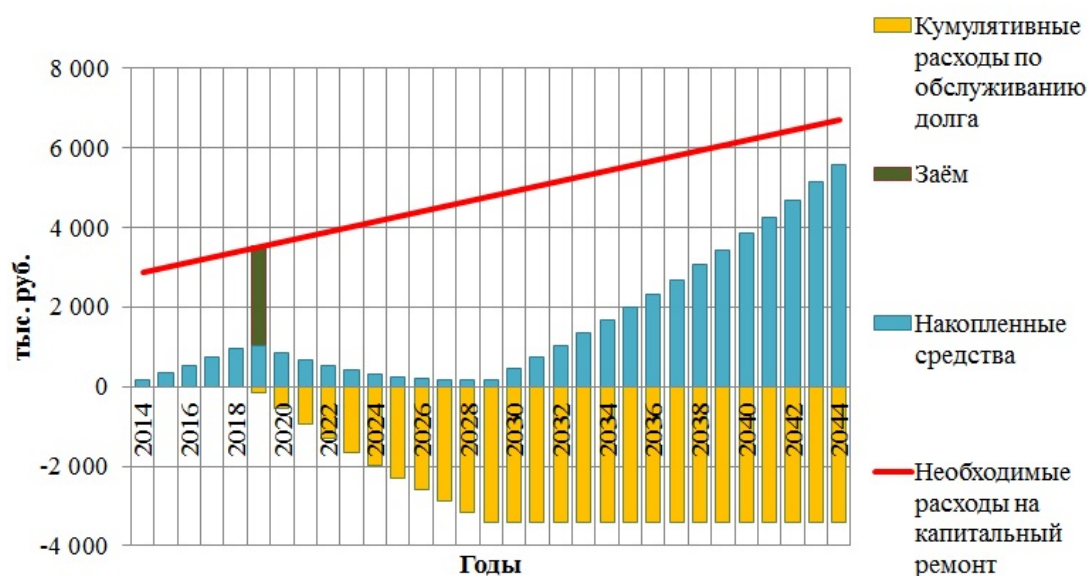


Рис. 2. Модель структуры источников финансирования и расходов на КР для МКД, самостоятельно использующих накопления на КР (сценарий №2, проведение КР в 2019 г.)

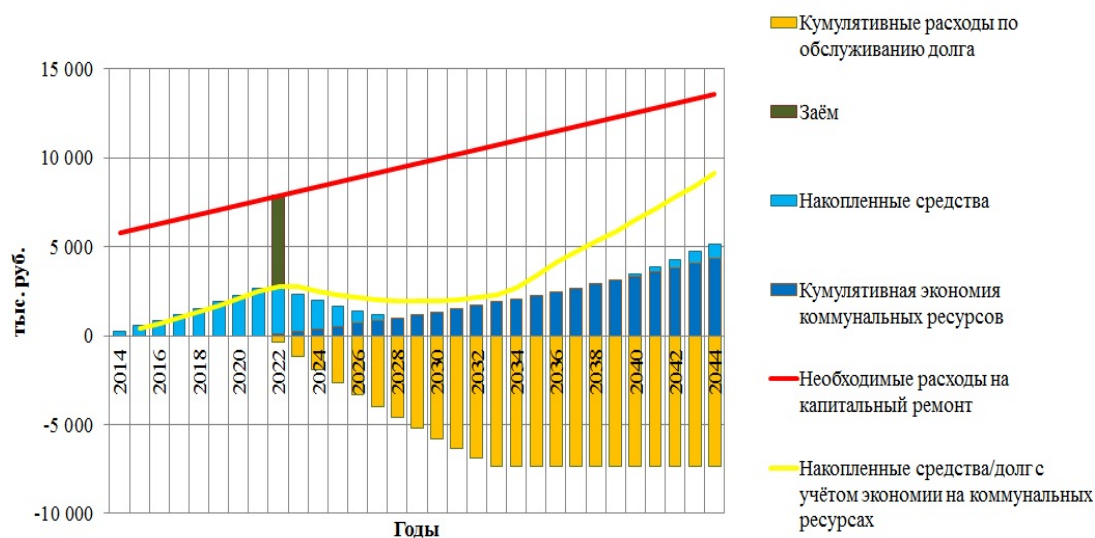


Рис. 3. Модель структуры источников финансирования и расходов на КР для МКД, самостоятельно использующих накопления на КР (сценарий №3, проведение КР в 2022 г.)

Динамика основных показателей для МКД, самостоятельно использующих накопления на КР (сценарий №3, проведение КР в 2022 г.)

Год	Обязательная плата	Плата граждан	Накопленные средства	Доход на накопления	Необходимые расходы на КР	Расходы на КР	Заем	Возврат займа	Оплата процентов	Всего обслуживание займа	Кумулятивная экономика коммунальных ресурсов
	руб./м ² / мес.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.	тыс. руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2014	10,60	252,50	263	10,60	5 782	0	0	0	0	0	0
2015	11,14	265,37	550	21,60	6 076	0	0	0	0	0	0
2016	11,71	278,95	863	34,00	6 386	0	0	0	0	0	0
2017	12,23	291,33	1194	39,20	6 667	0	0	0	0	0	0
2018	12,67	301,81	1535	38,90	6 907	0	0	0	0	0	0
2019	13,13	312,77	1896	48,00	7 156	0	0	0	0	0	0
2020	13,58	323,49	2273	53,30	7 399	0	0	0	0	0	0
2021	14,04	334,45	2670	62,60	7 651	0	0	0	0	0	0
2022	14,52	345,88	2750	64,50	7 911	7 911	5 161	0	330	330	128
2023	15,00	357,32	2351	52,90	8 172	0	4 645	516	293	809	261
2024	15,45	368,04	1994	39,10	8 417	0	4 129	516	248	764	400
2025	15,90	378,76	1675	31,20	8 661	0	3 613	516	213	729	544
2026	16,33	389,00	1394	23,30	8 895	0	3 097	516	177	693	694
2027	16,74	398,77	1152	17,00	9 117	0	2 581	516	142	658	849
2028	17,16	408,77	945	14,00	9 345	0	2 064	516	114	630	1 009
2029	17,59	419,01	774	11,40	9 579	0	1 548	516	85	601	1 175
2030	18,03	429,50	640	9,50	9 818	0	1 032	516	57	573	1 346
2031	18,48	440,22	544	8,00	10 063	0	516	516	28	544	1 523
2032	18,94	451,17	486	7,20	10 315	0	0	516	0	516	1 705
2033	19,41	462,37	439	6,50	10 573	0	0	516	0	516	1 892
2034	19,90	474,04	927	13,70	10 837	0	0	0	0	0	2 085
2035	20,40	485,95	1434	21,20	11 108	0	0	0	0	0	2 283
2036	20,91	498,10	1961	29,00	11 386	0	0	0	0	0	2 487
2037	13,33	317,54	2313	34,20	11 671	0	0	0	0	0	2 696
2038	13,66	325,40	2678	39,60	11 963	0	0	0	0	0	2 910
2039	14,00	333,50	3057	45,20	12 262	0	0	0	0	0	3 130
2040	14,35	341,83	3450	51,00	12 569	0	0	0	0	0	3 355
2041	14,71	350,41	3857	57,00	12 883	0	0	0	0	0	3 586
2042	15,08	359,22	4279	63,20	13 205	0	0	0	0	0	3 822
2043	15,46	368,28	4717	69,70	13 535	0	0	0	0	0	4 063
2044	15,85	377,57	5171	76,40	13 873	0	0	0	0	0	4 310

Выводы по результатам исследования

1. Предложена структура источников финансирования и расходов на КР для МКД, самостоятельно использующих накопления на КР по 3 вариантам реализации работ.

2. Отмечено, что варианты реализации работ (пакеты мероприятий) зависят от объема накопленных средств собственников, а также физического и морального износа жилого имущества.

3. Предложена динамика основных экономических показателей для использования моделей накопления средств в МКД, самостоятельно использующих накопления на КР. Основным параметром реализации модели является сокращение сроков накопления средств на осуществление работ по капитальному ремонту и обеспечение доступности платежа.

4. Выявлено, что сроки проведения и набор мероприятий по КР зависят от скорости накопления денежных средств. Для проведения более качественного и полномасштабного капитального ремонта и реализации энергосберегающих мероприятий требуется увеличение размера ежемесячного взноса на капитальный ремонт.

Список литературы

1. Данилов, А.М. Методологические принципы математического моделирования сложных систем / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2016. – № 1 (1). – С. 76–79.
2. Данилов, А.М. Научная статья с позиций системного анализа / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 2. – С. 183–187.
3. Толстых, Ю.О. Разработка вариантов эффективного управления объектами недвижимости в жилищно-коммунальном комплексе. автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Ю.О. Толстых. – Пенза: ПГУАС, 2007.
4. Толстых, Ю.О. Исследование практик организации и деятельности управляющих компаний в современных условиях при проведении капитального ремонта многоквартирных жилых домов / Ю.О. Толстых, М.С. Арефьева, Т.В. Учинина. – Пенза, 2014.
5. Сравнение особенностей организации капитального ремонта и реконструкции зданий в России и за рубежом / О.М. Нелюбина, Ю.О. Толстых, С.С. Михалина, Т.В. Учинина // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=15283>.
6. Хаметов, Т.И. Анализ этапов развития жилищно-коммунального хозяйства России и особенностей правового регулирования капитального ремонта / Т.И. Хаметов, Ю.О. Толстых, С.Н. Букин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=12306>.

References

1. Danilov, A.M. Methodological principles of mathematical modeling of complex systems / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Bulletin of PGUAS: construction, science and education. – 2016. – No. 1 (1). – P. 76–79.
2. Danilov, A.M. A scientific article from line position of system analysis / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional architecture and engineering. – 2014. – No. 2. – P. 183–187.
3. Tolstykh, Yu.O. Development of options of effective management of real estate objects in a housing-and-municipal complex. Abstract of the thesis for a degree of Candidate of Economic Sciences / Yu.O. Tolstykh. – Penza: PGUAS, 2007.
4. Tolstykh, Yu.O. Research of organization and activities of managing companies in modern conditions when carrying out capital repairs of apartment houses / Yu.O. Tolstykh, M.S. Arefyeva, T.V. Uchinin. – Penza, 2014.
5. Comparison of features of the organization of capital repairs and reconstruction of buildings in Russia and abroad / O.M. Nelyubina, Yu.O. Tolstykh, S.S. Mikhulina, T.V. Uchinina // Modern problems of science and education. – 2014. – No. 5. – URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=15283>.
6. Khametov, T.I. Analysis of stages of development of housing and communal services of Russia and features of legal regulation of capital repairs / T.I. Khametov, Yu.O. Tolstykh, S.N. Bukin // Modern problems of science and education. – 2014. – No. 2. – URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=12306>.