ISSN 0236-2910

ВЕСТНИК
МОРДОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 4. 2008 г.



СЕРИЯ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ НАУКИ

Основан в январе 1990 г.
Выходит один раз в квартал

№ 4
2008
Серия
«Архитектурно-строительные науки»

ВЕСТНИК МОРДОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

НАУЧНО-ПУБЛИЦИСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Учредитель Мордовский университет

ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ

В. Б. Махаев. Архитектурный комплекс Мордовского университета: прошлое, настоящее и будущее 4

В. Ф. Вавилин, В. А. Моисеенко. В. В. Вавилин. Инженерные и транспортные сооружения Москвы как градостроительные ориентиры 11

А. С. Алешкин. О становлении национальной архитектуры Республики Мордовия 14

М. В. Сульдинский. Семантика декора крестьянского жилища мордвы 17

Н. Ю. Лысова. Живописная репрезентация городов Италии в отечественном искусстве XVIII — начала XX века 26

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ДИЗАЙНА

С. В. Кочнев. Образ интерьера: объект — тема — стиль 35

С. В. Щедрина. Дизайн в контексте гуманитарного знания 37

Н. В. Белкина. Дизайн как творчество 42

С. Н. Коломиец. Упражнение «Витраж» в структуре курса «Основы композиции» 46

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Л. И. Куприяшкина. Создание цементосберегающих композитов 49

С. А. Коротаев, В. Т. Ерофеев. Получение легких бетонов на поризованном стеклообразном связующем 54

В. Т. Ерофеев, С. В. Казначеев, А. Д. Богатов. Композиты контактно-конденсационного твердения на основе местных сырьевых материалов и отходов промышленности 59

С. В. Дудынов. Биомодификаторы для строительных материалов и технология их получения 67

В. Т. Ерофеев, А. Д. Богатов, С. Н. Богатова, С. В. Казначеев. Строительные материалы на основе отходов стекла 70

В. П. Селяев, Т. А. Низина. Компьютерные технологии для анализа структуры и свойств строительных материалов и изделий 89

П. С. Ерофеев, Г. А. Лаптев, А. И. Меркулов, В. Т. Ерофеев. Исследование прочности и жесткости металлобетонов методом численного моделирования 86
К. С. Подшивалова, А. В. Лахно, А. А. Валюхов, В. Т. Ерофеев. Плотность дисперсно-наполненных композитов 92

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Ю. А. Полетаев, Б. М. Люпаев, А. И. Никомаскин, А. А. Морозов, П. И. Пивкин. Исследование свойств КББ при воздействии сдвиговых нагрузок 98
В. В. Ерастов, А. В. Ерастов, В. Т. Ерофеев. О расчете конструкций из нелинейно-упругого материала в условиях действия агрессивной среды 102
И. И. Меркулов, В. М. Балалин. Учет степени уплотнения грунта за строительный период при проектировании фундаментов 109
Д. Н. Котельников, В. И. Римшин. Конструктивное усиление фундаментов и грунтов основания окружающей застройки при новом строительстве в крупных мегаполисах 112
В. В. Петров, О. В. Пенина, П. В. Селяев. Инкрементальные модели расчета пластинок, взаимодействующих с агрессивными средами 115
Н. В. Черушова, Е. А. Митина, М. М. Касимкина, В. В. Афонин, В. Т. Ерофеев. Оценка изменения декоративных свойств лакокрасочных материалов под воздействием эксплуатационных факторов 124
В. П. Селяев, Т. А. Низина, Ю. А. Ланкина. Оценка изменения декоративных свойств защитных покрытий под действием УФ-облучения 128
В. И. Федосейкин, П. В. Селяев. Об особенностях долговременной работы стыков изгибаемых элементов 133
В. П. Селяев, О. Ю. Коровина. Экспериментальные и аналитические методы оценки и прогнозирования долговечности бетонов 136
В. П. Селяев. Расчет долговечности железобетонных конструкций 140
В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов, Е. В. Завалишин, Е. А. Морозов, О. И. Смирнова. Повышение стойкости конструкций зданий и сооружений к биологически агрессивным средам 150
П. И. Новичков. Взаимосвязь интенсивности коррозии со структурой и влажностью порового пространства бетона 159
В. В. Цыганов. Основные подходы к прогнозированию срока службы железобетонных конструкций с полимерными покрытиями 165

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И СПЕЦСООРУЖЕНИЙ

Б. М. Люпаев, Ю. А. Полетаев, А. Ю. Луконин, О. А. Ворсина, Л. А. Галочкина. Применение каркасных щебеночно-песчаных оснований в автодорогах 168
Л. А. Галочкина. РОДМЕШ — армирующая сетка 173
Д. Г. Федоров, А. И. Никомаскин, В. Т. Ерофеев. Строительство автодорог из цементобетона в США 175
Г. Ф. Тыщук, Б. М. Люпаев. Совершенствование методов расчета отверстия автодорожного моста 177
Г. Ф. Тыщук, Н. В. Денега. Закрепление слабых берегов малых рек, оврагов и балок 178

ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А. В. Дергунова. Инновационная деятельность в капитальном строительстве 183
А. В. Сураева-Королева. Факторы формирования цены жилищного ипотечного кредита 187
В. И. Римшин, Р. Х. Бикбов, В. Ф. Сушков, Л. И. Шубин, Е. А. Омельченко. Градостроительный кодекс и современное территориальное планирование Российской Федерации 191
В. Ф. Сушков. Первоочередные мероприятия по энергосбережению в жилищно-коммунальном хозяйстве городского округа Саранск 195

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

А. М. Астапов, Л. М. Ошкина, Г. М. Шипова, М. Н. Ветчинников. К вопросу об актуальных проблемах графического компьютерного образования 199

Н. В. Белкина. С. В. Щедрина. Этнический компонент в содержании образовательных программ «Дизайн» 208

ХРОНИКА. РЕЦЕНЗИИ. ОБЗОРЫ

В. Б. Махаев. М. А. Борисова. Международный форум дизайна и архитектуры в Тольятти 213

В. Н. Бобылев. Градостроительные ориентиры российских столиц. Москва (рец. на одноименную монографию В. Ф. Вавилина, В. А. Моисеенко и В. В. Вавилина. Саранск, 2007) 215

В. И. Римшин. Градостроительные ориентиры российских столиц. Санкт-Петербург (рец. на одноименную монографию В. Ф. Вавилина, В. А. Моисеенко и В. В. Вавилина. Саранск, 2008) 216

Н. Ю. Лысова. Паломничество по православным святыням (рец. на книгу В. Б. Махаева «Храмы Мордовии: рассказы для школьников о православных храмах и монастырях мордовского края». Саранск, 2008) 217

Б. М. Люпаев. Достаточно ли семи дней для сотворения мира? 219

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 220

Главный редактор **Н. П. Макаркин**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Шапкарин К. И. (зам. гл. ред.),
Арсентьев Н. М., Ерофеев В. Т., Мишанин Ю. А., Мокшин Н. Ф., Мосин М. В., Ренц В. В., Савкин Н. С., Секин П. В., Сухарев А. И., Фомин Н. Е., Черкасов В. Д.
Ответственный за номер: Махаев В. Б.

Адрес редакции: 430005, г. Саранск, ул. Большевистская, 68, комната 114.
Телефон: (8342) 24-25-18.
E-mail: vestnik_mrsu@mail.ru.

© Коллектив авторов, 2008

ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ

АРХИТЕКТУРНЫЙ КОМПЛЕКС МОРДОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

В. Б. Махаев

В статье рассматривается комплекс Мордовского государственного университета с градостроительной и архитектурной позиций. Проанализирована его историческая эволюция как градообразующего элемента Саранска и целостного элемента городской среды. Поставлены проблемы дальнейшего развития важнейшего многофункционального общественного-образовательного и культурного комплекса в структуре городского центра столицы Республики Мордовия. Приводятся примеры проектных решений по отдельным узлам университетского комплекса.

Комплекс Мордовского государственного университета формировался в течение всего XX в. и в настоящее время является существенным градообразующим фактором и важной составляющей архитектурного облика Саранска. Учебные здания вошли в структуру уездного города на рубеже XIX—XX вв. и ныне стали неотъемлемым элементом столицы республики. Архитектурная эволюция Мордовского университета наглядно иллюстрирует развитие современной отечественной вузовской архитектуры. В начале прошлого века и в 1925—1935 гг. здания вузов возводились по индивидуальным проектам. В конце 1930-х гг. появились первые вузовские комплексы; в конце 1940-х гг. началась индивидуальная реконструкция отдельных корпусов. С конца 1950-х гг. строительство вузов велось в основном по типовым проектам; в 1960-е гг. главной тенденцией стало укрупнение комплексов на основе блочных систем; с 1970-х гг. отечественная архитектура вышла на новый этап — функционально-пространственные решения вузов усложнились. Проекты всех советских вузовских комплексов (в том числе и Мордовского университета) были выполнены в московском институте Гипровуз (Гипроуз).

Старейшее университетское здание Саранска — учебный корпус № 5 на улице Володарского. Здание выстроено в 1912 г. как вторая очередь городского реального училища, первая очередь которого — двухэтажное здание — возведено в 1907 г. Трехэтажный корпус имеет коридорную планировку, большие аудитории и неоштукатуренные фасады с крупными проемами. Его облик соответствует «кирпичному стилю» архитектуры рубежа XIX—XX вв., особенностями которого были рациональные формы и минимум деталей (рустованный цоколь, лопатки, сухарики фриза). Первоначально в здании действовало воздушное (калориферное) отопление. Сейчас в этом корпусе размещаются лекционные аудитории и лаборатории архитектурно-строительного факультета. В 1980-е гг. студентами этого факультета сделаны четыре дипломных проекта реконструкции корпуса (руководители — С. О. Левков, С. М. Нежданов).

В начале 1930-х гг. Саранск стал столицей автономной республики. Небольшой город с одноэтажной деревянной застройкой должен был получить новый, советский облик. Были построены крупные для тех лет общественные здания: партийная и советская администрации, Дом печати и Дом связи, партшкола и пединститут, вокзал, больница, училища и школы. В 1931—1936 гг. на Советской улице было возведено здание комвуза. Ранее

на этом важном в градостроительном отношении месте — близ главной площади города, между улицей Базарной и бровкой верхней террасы городского рельефа — размещался монастырский комплекс: Верхне-Казанская и Архангельская церкви, построенные в XVIII в. (они были разобраны в 1931—1934 гг.). Здание комвуза (позже — Мордовская областная партшкола) было выстроено по проекту инженера В. И. Плетнева (проектная контора «Мордпроект») в рациональных конструктивистских формах. Оно представляло собой трехэтажный Т-образный корпус с главным северным фасадом и входом по улице Советской и полукруглым выступом с лестничной клеткой по южному фасаду. Это здание было реконструировано в 1946 г. по проекту С. О. Левкова: в соответствии с классицистической эстетикой тех лет был пристроен входной портик (высокая лоджия с четырьмя колоннами большого модернизированного ордера; между центральными колоннами был зажат пристроенный тамбур с балконом, на облегченном антаблементе размещался аттик с крохотными акротериями). С 1957 г. в этом корпусе размещаются университетские факультеты. В 1967 г. здание было реконструировано вторично — по дипломному проекту студентов В. К. Тесля и А. Т. Бельмасова (руководитель — С. О. Левков), входной портик был завершен пологим треугольным фронтоном. В 1972 г. корпус был реконструирован в третий раз: пристроены западное и восточное крылья, а также актовый зал. В 1935—1961 гг. перед главным входом находилась малоудачная скульптура Ленина. В настоящее время в корпусе № 4 размещаются географический и архитектурно-строительный факультеты, архив и Издательство Мордовского университета.

В 1932 г. на углу улицы Большевистской и Рабочего переулка (ныне улица Б. Хмельницкого), на месте одноэтажной деревянной жилой застройки, началось строительство корпусов агропединститута. Проект был разработан архитектором Якобсоном (Гипроауз) и представлял собой два учебных корпуса, объединенных в Г-образную композицию. Главный вход был запроектирован в угловом вестибюле, обращенном на улицу Большевистскую. Во дворе размещались пристроенный спортзал и спортивные сооружения: футбольное поле, теннисный корт, баскетбольная и волейбольные площадки.

В 1932—1934 гг. под наблюдением инженера В. И. Плетнева сооружался корпус № 1 по Рабочему переулку с аудиториями на 720 чел. Он представлял собой четырехэтажный Т-образный корпус простых геометрических форм в конструктивистском стиле: с гладкими фасадами без декора и вертикальным остеклением лестничных клеток. Плоские крыши имитировались высокими парапетами, частично скрывавшими скаты. На углу улиц к входной части учебного корпуса был пристроен одноэтажный актовый зал. В 1940 г. была выстроена вторая очередь пединститута — корпус по улице Большевистской со спортивным залом во дворе. Оба корпуса имели коридорную планировку. В 1947—1950 гг. С. О. Левков реконструировал эти корпуса: главный вход был украшен восьмиколонным портиком большого ордера (квадратные в сечении колонны высотой в три этажа опирались на пьедестал, внутри которого разместился тамбур, и поддерживали массивный антаблемент с высоким фризом). Фасад приобрел классицистические детали; был надстроен спортзал. Перед входом был установлен монумент Сталина (уменьшенная копия скульптуры С. Д. Меркурова на канале Москва — Волга, разобран в 1961 г.). Позже корпус по Рабочему переулку был удлинен, и в пристрое размещена библиотека.

В 1940 г. по улице Демократической внутри квартала выстроено четырехэтажное университетско-заводское общежитие. П-образный корпус с коридорной планировкой и упрощенными фасадами украсили скромными деталями — тонкими сандриками над окнами и мелкими зубчиками карниза. В настоящее время в этом здании размещается филологический факультет.

В 1957 г. на проспекте Ленина по проекту С. О. Левкова выстроено угловое трехэтажное здание Школы руководящих колхозных кадров. Его фасад украшен большим плоским портиком с шестью пилястрами, остекленными простенками и треугольным фронтоном (в этой части здания находится актовый зал). Ныне здесь располагаются ДК университета и Институт национальной культуры.

Таким образом, к концу 1950-х гг. в Саранске уже существовали вузовские корпуса.

Тем не менее образованный в 1957 г. Мордовский университет должен был не просто выделиться в городской застройке своими зданиями, но как крупный градостроительный объект занять особое место в структуре города. В 1960—1970-е гг. университетские здания проектировались как единая пространственная и функциональная система. Ядром этой системы стал университетский квартал, где в 1930-е гг. были построены первые корпуса пединститута — между улицами Большевистской и Пролетарской, Б. Хмельницкого и Полежаева. Здесь разместились главные административные и некоторые факультетские корпуса. Другие здания были расположены как в центре города, так и в новых жилых районах, а также в пригородной зоне. Вместе со зданиями пединститута в Юго-Западном жилом районе университетские объекты стали складываться в функционально-пространственную вузовскую систему города. Архитектура учебных корпусов, выстроенных в тот период, имеет функциональный, подчеркнуто утилитарный характер. По градостроительному решению наиболее близок комплексу в Саранске Северо-Осетинский университет в г. Орджоникидзе и Комсомольский-на-Амуре политехнический институт: в этих городах проделана аналогичная реконструкция большого квартала среди сложившейся городской застройки без исторически ценных памятников.

Целостная застройка университетского квартала, необходимость которой была осознана в начале 1960-х гг., зафиксирована генпланом Саранска 1965 г. и проводилась в несколько этапов. В 1968 г. по улице Большевистской возведен четырехэтажный лабораторный корпус № 2 со спортзалом (привязка типового проекта Гипровуза выполнена в студенческом конструкторском бюро). Позже возникла потребность более эффективного использования территории — заполнения небольшого пространства между корпусами № 1 и 2. На строительном факультете под руководством С. О. Левкова были сделаны два дипломных проекта корпуса-вставки, один из которых был утвержден Госстроем РСФСР для дальнейшей разработки. Однако запроектированный корпус с аудиториями уже не удовлетворял потребности университета, и в 1973 г. Гипровуз запроектировал генплан квартала и высотный административно-библиотечный корпус (архитекторы А. М. Лисица, Г. Н. Калошина). АБК построен в 1981 г. Его объемно-планировочное решение обусловлено оптимальным размещением книгохранилища и читальных залов по одной вертикали, шахтной разводкой коммуникаций и вертикальным способом транспортировки литературы. Крупный монолит АБК с небольшим ленточным остеклением стал высотной доминантой всего квартала и университетской площади. Это здание хорошо вписывается в панораму центральной части города, которая просматривается с дальних точек — от Посопа, аэропорта и т. д.

Генплан, выполненный Гипровузом, предусматривал снос старых зданий внутри квартала и строительство ряда новых корпусов. Территория внутри квартала расчленялась на небольшие замкнутые площади. Институт электроники был задуман как три массивных куба с большим остеклением, соединенных переходами, его место было определено на улице Б. Хмельницкого. Институт повышения квалификации размещался в аналогичном корпусе по улице Полежаева. Внутри квартала планировался высотный корпус Института экономики и финансов (позднее в «Мордовгражданпроекте» был сделан проект этого здания — кубический объем с вертикальными арочными проемами, размещенный в западной части квартала). В середине 1990-х гг. Гипровуз разработал схему развития университетского комплекса: в центре квартала предлагалось построить Институт общественных наук и гуманитарных факультетов — Г-образный корпус с актовым залом на 2 000 мест и высотным зданием; рядом формировалась компактная площадь. Институт повышения квалификации был запроектирован как Z-образный корпус, выходящий 16-этажным объемом на улицу Полежаева (архитектор Кузнецов).

В 1966 г. построены два типовых пятиэтажных студенческих общежития по улице Пролетарской. В 1978 г. Гипровуз выполнил новый проект учебного корпуса № 16 по улице Б. Хмельницкого (архитектор Савченко). В 1984 г. корпус построили и разместили в нем Институт электроники и светотехники. Это крупный пятиэтажный параллелепипед на подрезанном цокольном этаже, три массивных глухих объема с лекционными залами пристроены «гребенкой» со двора. В

1986 г. периметр по улице был поддержан вставкой, подчеркнувшей угол квартала — корпусом общежития аспирантов и стажеров — с перепадом этажности, проездной аркой и длинными скругленными балконами, ассоциирующимися, по замыслу архитектора, с электротехническим прибором (архитектор А. В. Кобзев, проект 1979 г.). В 1993 г. архитектор В. Г. Егоров (Гипроуз) запроектировал высотное здание-вставку НИИ регионологии Мордовского университета между корпусами № 1 и 16, строительство 10-этажного корпуса завершилось в 1998 г. Таким образом, в настоящее время университетский квартал с трех сторон закрыт сплошным фронтом зданий. Пространство внутри квартала занимают университет-ский корпус, типовая столовая (1973), спортивный зал (архитектор Ф. К. Казакова, 2000), а также старые постройки поликлиники и малоэтажного жилого дома.

На каждом этапе застройки квартала его облик обогащался средствами монументального искусства. По улице Б. Хмельницкого установлен памятник павшим воинам (архитектор С. О. Левков, 1971, реконструкция В. И. Сологуба, 1985), на глухом торце корпуса № 2 размещена мозаика (московский художник Н. И. Андронов, 1971), на верхнем этаже АБК установлена эмблема из кованой меди (художники В. Е. Рябов и В. Г. Ливанов, скульптор В. П. Козин, 1983), на ступенчатой платформе перед АБК стоит гранитный памятник Н. П. Огареву (московский скульптор В. Б. Шелов, 1984), на фасаде корпуса № 1, где работал М. М. Бахтин, находится мемориальная доска (скульптор Н. М. Филатов, 1996). В 2005 г. сделан проект памятника М. М. Бахтину. Предполагается, что он будет установлен перед учебным корпусом № 1, где работал выдающийся русский философ (скульптор Н. М. Филатов, архитектор В. А. Бродовский).

Каковы архитектурные проблемы центрального ядра университета? Существующая площадь оказалась смещенной относительно квартала с учебными корпусами, фактически она стала площадью перед Национальной библиотекой и зданием проектного института (благоустройство площади выполнено в конце 1970-х гг. по проекту архитектора Н. М. Николаевой). Эта площадь в скором времени будет застроена новым корпусом библиотеки, торгово-развлекательным комплексом и зданием арбитражного суда. Перед фронтом университетских зданий по улице Большевистской расположен стадион «Светотехника» (он используется для проведения общеуниверситетских массовых мероприятий), а непосредственно перед входами в корпус № 1 и в АБК — лишь небольшие площадки. Они малы для крупномасштабных мероприятий. После строительства в 1997 г. импозантного здания Мордовпромхстройбанка на улице Хмельницкого напротив корпуса № 16, центр этой площади также переместился от учебного здания в сторону банка. Маловыразительный северо-восточный угол университетского квартала обращен на оживленную рыночную площадь. Таким образом, новыми архитектурными доминантами этой части центра города становятся другие общественные объекты. Если в качестве вузовского «форума» может быть использован стадион, то экстерьер квартала теряет былую представительность. Назрела архитектурная проблема реконструкции университетского квартала: он не должен утратить значимость и привлекательность.

В 1997 г. началось проектирование новых учебных корпусов по улице Полежаева (архитекторы Е. Н. Филимонов, Н. Н. Абдуллин). Они будут строиться в три этапа. В 2005 г. открылись семиэтажный учебный корпус и двухэтажный аудиторный блок, предназначенные для экономического факультета. Вторая очередь — корпус для юридического факультета. Третий этап — математический факультет. Строительство осуществляется по Федеральной программе развития образования. Новый высотный корпус явился третьей доминантой университетского квартала и самым высоким зданием Саранска (53 м) до возведения в 2006 г. Свято-Федоровского кафедрального собора. В высотном корпусе 150 помещений, два читальных и два конференц-зала, спортзал, буфет. В остекленной пирамиде, откуда открывается впечатляющий вид на городской центр, разместился читальный зал на 90 чел. Открытие нового корпуса позволит перевести часть помещений из корпуса № 1 и произвести там реконструкцию.

Следующим станет строительство Института национальной филологии и культуры финно-угорских народов (проект архитекторов Н. Н. Абдуллина и О. К. Бикбулатова). Глав-

ный вход в институт и вестибюль находятся в двухэтажном корпусе, где будет размещен концертный зал на 600 мест. Девятиэтажный учебно-лабораторный корпус продолжит блок, вынесенный на улицу Полежаева. Между низким и высоким корпусами пройдет двухэтажная галерея с верхним светом, соединяющая внутреннюю университетскую площадь и улицу Полежаева. В целом архитектура новых корпусов более пластична, чем постройки предыдущих десятилетий. Она насыщена деталями (криволинейные элементы, остекление, цвет), и, несмотря на большие размеры, имеет масштаб, приближенный к человеку. Это относится и к открытому пространству: между столовой, филологическим факультетом и Институтом национальной филологии и культуры финно-угорских народов планируется создать небольшую площадь.

Одна из проблем реконструкции этой части городского центра — эстетическая: архитектурный комплекс университета должен приобрести собственное лицо, индивидуальный облик, который не должен потеряться в динамично обновляющейся среде Саранска. Очевидно, не следует сводить поиск индивидуальности к внешнему украшению, оформлению фасадов главных корпусов. Комплексная реконструкция должна начаться с внутриквартального пространства: оно должно преобразиться с учетом новейших достижений вузовской архитектуры (комплекс Мордовского университета на исходе XX в. соответствует уровню отечественной архитектуры начала 1970-х гг.). Квартал, как и город в целом, пока плохо благоустроен, остро ощущается недостаток рекреаций — открытых и закрытых мест отдыха, территория недостаточно озеленена внутри — нет уютных двориков (по существующим нормам парковые зоны и зеленые насаждения должны составлять не менее 40 % площади земельных участков). Центральное городское пространство должно использоваться с максимальным экономическим и эстетическим эффектом, университет должен превратиться в плотное ядро, куда войдут и новые учебные корпуса, и научные подразделения, и рекреации. Очевидно, в будущем будет использоваться и подземный уровень. Новые пространства, скорее всего, будут скромных размеров: сегодня ценится не величина, а качество среды.

В конце 1950-х гг. на улице Б. Хмельницкого рядом со Школой колхозных кадров было выстроено четырехэтажное общежитие (позднее здание было переоборудовано в профилакторий, в 2004 г. его снесли для строительства жилого дома). Однако в последующие годы имевшиеся общежития уже не могли вместить всех иногородних студентов. Наиболее рациональным решением было формирование обособленного студенческого городка. Он был создан в 1970—1980-е гг. в нижней части города, в тихом районе среди старой усадебной застройки, между улицами Московской и Ворошилова, Республиканской и Александра Невского. Расстояние от студенческих общежитий до главных учебных корпусов несколько превышает нормативный радиус пешеходной доступности, однако в данном месте существовал резерв территории, необходимый для размещения нескольких многоэтажных зданий с учреждениями обслуживания и хозяйственной зоны. Строительство студгородка было согласовано со специалистами московского института Гипрогор, занимавшимися генеральным планом Саранска. Студгородок и девятиэтажные общежития блочной планировки запроектированы в «Мордовгражданпроекте». В 1981 г. архитектор Ф. П. Кильдюшкин предложил разместить на этой территории до улицы Серова семь общежитий, общественно-торговый центр, детский сад и два стадиона. Архитекторы А. Шафеев и Г. Береза позднее откорректировали первоначальный генплан: при сносе ветхой деревянной застройки сохранялась старая аллея внутри квартала и сокращалось количество новых зданий. В настоящее время здесь размещаются четыре девятиэтажных общежития. Новое здание общежития, разработанное на основе типового проекта, будет возведено внутри квартала на месте гаража (архитектор О. К. Бикбулатов). На улице Б. Хмельницкого на месте профилактория будет выстроено десятиэтажное жилое здание. Оно будет состоять из трех секций: центральной с комнатами на 160 мест и двух боковых с 56 двухкомнатными квартирами (архитекторы Н. Н. Абдуллин, Д. Анюхин).

В 1976 г. в Юго-Западном районе города в лечебно-оздоровительной зоне выстроены два типовых корпуса медицинского и биологического факультетов и общежитие. В 1988 г.

в пос. Ялга по проекту Гипровуза началось строительство комплекса зооветтехникума на 1 200 студентов. Проектом предусматривалось создание общественного центра, ряда учебных корпусов и общежитий. Были построены три учебных здания (в настоящее время — Институт механики и энергетики, учебный корпус № 17 университета) и два общежития. Выразительную объемную композицию учебного корпуса составляют два лекционных зала и библиотека, выделенные в крупный блок и сочлененные с четырехэтажным блоком групповых аудиторий и лабораторий. Западнее учебного корпуса находится ангар для сельскохозяйственных машин с верхним освещением.

В настоящее время сложился пространственный каркас Мордовского университета, вмещающий многочисленные развитые вузовские функции. Первый этап формирования крупнейшего вуза Мордовии завершен. В перспективе университет должен стать развивающейся пространственной системой. Следующий этап будет не менее важен и сложен, он заключается в совершенствовании, гуманизации сложившейся среды, ее всестороннем наполнении. Так, существующие интерьеры, оборудование абсолютно не соответствуют современным требованиям. Они подразумевают высокие эргономические, технические, коммуникационные, художественные качества среды. Выявить эти качества должен комплексный дизайн-проект университета. Очевидна и основная его направленность: так как хранение и обработка информации стали стержнем современной культуры, именно на этой основе будет построена технически оснащенная, комфортная среда вуза XXI в.

При проектировании университетского комплекса должна быть учтена особенность Саранска: на небольшой территории городского центра сосредоточены важнейшие культурно значимые объекты: музей С. Д. Эрьзи, Государственный музыкальный театр, филармония, Национальная библиотека, ряд НИИ, Дворец спорта и др. Такая концентрация позволяет создать крупный современный центр образования, науки и культуры на основе кооперирования, рационального использования информационных центров и коммуникационных сетей, аудиторий, лекционных и выставочных залов, спортивных объектов. Студенты и преподаватели уже сейчас могут пользоваться всеми общественными учреждениями городского центра (исключение составляют медицинский и биологический факультеты, выведенные на периферию города, связь инженерных факультетов с промышленными предприятиями не столь важна). Традиционная планировка учебных корпусов (коридорная с мелкими ячейками помещений) легко позволяет видоизменять функции и трансформировать пространства.

Можно ли привести пример отечественной вузовской архитектуры, достойный подражания? Крупным провинциальным вузом с богатой культурной традицией и замечательной архитектурой является Казанский университет. Он является одним из центральных ансамблей в центральной исторической части города. Его основа — квартал, построенный в едином классицистическом стиле в первой половине XIX в. (архитекторы П. Г. Пятницкий и М. П. Коринфский). Старый комплекс дополняют здания, выстроенные в конце XIX — начале XX в., а два новых корпуса, появившиеся в 1980-е гг., являются контрастными высотными ориентирами. Подобного архитектурного разнообразия в Саранске нет, в комплексе Мордовского университета преобладают здания утилитарного облика, поэтому его пространственное развитие должно пойти не путем создания ансамбля и оформления экстерьера, а только интенсивным наполнением среды.

Поработать над реконструкцией университетского комплекса было предложено студентке III курса архитектурно-строительного факультета Ирине Бобровой (руководители — профессор В. Б. Махаев и доцент В. И. Бабаков). В 2007 г. она сделала проект нового выставочного зала, который скоро начнут строить во дворе квартала между улицами Ботевградской и Полежаева. Всвязи с тем, что учебный корпус № 6 давно отслужил свой срок, Ирине Бобровой предстоит выполнить проект нового учебного корпуса по улице Полежаева. Эти два здания будут связаны воедино и преобразят перекресток двух крупных городских улиц.

Развивая вузовскую тему, Ирина Боброва сделала проект университетской церкви. Мест для строительства студенческого храма она выявила три, и все они связаны со сносом существующих строений. Во-первых, в центре университетского квартала, где нужно сносить

поликлинику и старый корпус филологического факультета. Во-вторых, по улице Полежаева на месте двухэтажного жилого дома. Построенная на одном из этих мест студенческая церковь стала бы закрытым внутриуниверситетским объектом. Автору показалось более интересным вывести храм на периметр квартала, чтобы его архитектура работала на университетский образ. Первый корпус ввиду его ветхости надо сносить и строить новое здание. Автор предлагает пристроить к нему по улице Б. Хмельницкого храм, сделав вход в него изнутри учебного корпуса. Рядом с алтарем автор размещает существующий памятник героям войны, а на углу — новый памятник Михаилу Бахтину.

В 2008 г. Ирина Боброва выполнила проект реконструкции учебного корпуса №10 — несколько вариантов без храма. Корпус решается как угловой объем, в центре которого подвешен стеклянный куб со срезанным в виде солярного мордовского знака углом. Такое решение будет символизировать основную деятельность вуза, подготовку специалистов, которую можно представить, как выращивание кристалла идеальной формы. На противоположном углу университетского квартала, выходящего на перекресток улиц Б. Хмельницкого и Пролетарской, молодой архитектор разместила высотное здание с музеем на верхних этажах.

Кроме того, Ирина Боброва выполнила проект школы-интерната при университете, где могут жить и учиться наиболее одаренные старшеклассники нашей республики. Рядом с Домом культуры университета сейчас строится многоэтажное общежитие. Автор решил, что университетскую часть квартала по улице Б. Хмельницкого можно расширить до железной дороги и поставить здание школы на месте старого детского сада. Архитектура университетской школы ассоциируется с компьютерным дизайном, например, некоторые части здания сделаны в форме круглого CD-бокса. Продвинутым подросткам такой образ будет интересен.

Конечно, это учебные проекты, но автор старалась выполнить их профессионально, решить важные проблемы. Например, нужно ли искать для новых корпусов какой-то единый стиль или можно обойтись просто архитектурной эмблемой, скажем, порталом с университетским логотипом. Молодой архитектор считает, что за два следующих учебных года она успеет выполнить проекты и других частей университетского комплекса, а на VI курсе объединит все свои разработки в одно целое — в дипломный проект комплексной реконструкции Мордовского государственного университета.

Комплекс Мордовского университета будет неразрывно связан с общегородскими объектами. В Северо-Западном жилом районе планируется создание нового крупного лечебного центра, который включит и кафедры медицинского факультета (архитекторы Е. Н. Филимонов, Н. Н. Абдуллин, проект 1996 г.). Ботанический сад университета, разбитый близ с. Пушкарские Выселки в начале 1960-х гг., сольется с зеленой полосой, которая пройдет через весь город от юго-западного лесопарка к паркам в центре города в пойме р. Саранки, к широкой зеленой зоне в пойме р. Инсар. Развитый университетский комплекс станет важнейшей частью городского центра, крупнейшим культурным объектом Саранска XXI в.

Поступила 16.09.08

ИНЖЕНЕРНЫЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ МОСКВЫ КАК ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ОРИЕНТИРЫ

В. Ф. Ванилин, В. А. Моисеенко, В. В. Ванилин

В статье описываются инженерные и транспортные постройки Москвы как система уникальных технических объектов. Рассказана краткая история создания акведука в Мытищах, радиобашни инженера В. Г. Шухова, Крымского моста и Останкинской телебашни, ставших культурными доминантами столицы и символами своего времени.

Перечень типов инженерных и транспортных объектов в современной Москве весьма обширен и включает даже такие экзотические для России постройки, как акведук. Акведук построен в XVIII в. по указу Екатерины II для подачи ключевой воды из Мытищ в Москву. По дороге на богомолье в Лавру императрица останавливалась в Мытищах и решила, что именно оттуда надо вести питьевую воду к Кремлю. Классическая «римская» конструкция служила для преодоления оврага в русле Яузы питьевой водой, подающейся самотеком с водонапорной станции Алексеевской. Сооружение это весьма внушительное, при длине 356 м имеет 21 пролет по 8,5 м каждый. Строился акведук около 25 лет. На его возведение было потрачено больше одного миллиона рублей. В память об этом небывалом расходе народ прозвал акведук «миллионным мостом».

Особое место среди инженерных и транспортных объектов занимают высотные сооружения. Среди них одним из самых выдающихся является, безусловно, Шуховская башня. Шуховская башня считается одним из самых красивых и выдающихся достижений инженерной мысли в мире. В России ее сооружение вызвало всеобщий восторг. Образ конструкции Шуховской башни вдохновил А. Н. Толстого на создание фантастического романа «Гиперболоид инженера Гарина». Строительство башни длилось три года — с 1919-го по 1922-й. Автор проекта — инженер-конструктор, архитектор и ученый В. Г. Шухов (1853—1939).

Башня состоит из шести секций и достигает высоты 160 м. Первоначально планировалось соорудить девять секций (общая высота 350 м), но в стране не хватило стали. Башня возводилась без лесов, путем телескопического подъема секций. Она имеет оригинальную изящную сетчатую конструкцию, благодаря чему ветровая нагрузка, представляющая главную опасность для высоких сооружений, снижена до минимума. Секции башни — однополостные гиперболоиды вращения высотой 25 м каждый, сделанные из прямых металлических балок, упирающихся концами в кольцевые основания.

Трансляция радиопередач началась 19 марта 1922 г. С установкой двух траверз и флагштока высота Шуховской башни достигла 160 м. С 1938 г. башня используется для трансляции телепередач. Долгие годы изображение Шуховской башни являлось эмблемой советского телевидения и заставкой многих телепередач, включая знаменитый «Голубой огонек». До 1967 г. она являлась главной телебашней страны.

Мировое значение Шуховской башни подтверждают экспозиции ее макетов на престижных архитектурных выставках Европы последних лет. На выставке «Лучшие конструкции и сооружения в архитектуре XX века» в Мюнхене в 2003 г. был установлен позолоченный и шестиметровый макет.

Башня никогда не реставрировалась. Попытки придать ей дополнительную прочность с помощью сварных элементов компетентными международными экспертами признаются как варварство по отношению к уникальной конструкции. Во время усиления элементов башни было нарушено основное положение, заложенное Шуховым при ее проектировании, — определенная подвижность ее элементов при восприятии внешних нагрузок.

Останкинская телебашня

Останкинскую телебашню, подобно Шуховской, было бы справедливее назвать именем ее создателя — Николая Васильевича Никитина (1907—1973 гг.).

Когда встал вопрос о строительстве в Москве нового телевизионного комплекса с башней высотой не менее 500 м, инженер треста «Стальконструкция» доктор технических наук Н. В. Никитин выдвинул в высшей степени смелое предложение — построить башню из бетона. Многим тогда это показалось безумием. Теоретические расчеты показывали, что у столь грандиозного сооружения практически нет шансов устоять под напором сильного ветра.

Однако Никитин предложил нестандартную и в то же время удивительно простую конструкцию. Полый железобетонный цилиндр должен был стягиваться вертикальными стальными тросами, размещенными вдоль внутренней поверхности ствола. Эта система должна была придать башне невиданную прочность и устойчивость в экстремальных условиях, а также препятствовать образованию трещин в бетоне.

Акт комиссии о приемке первой очереди был подписан 5 ноября 1967 г. Ныне высота башни составляет 540 м (первоначально она была чуть ниже — 533 м, но затем был достроен флагшток). Высота бетонной части — 385 м. Глубина фундамента не превышает 4,6 м. Масса башни вместе с фундаментом — 51 400 т. Коническое основание сооружения опирается на десять опор; средний диаметр между опорами-ногами — 60 м.

Кольцевые сечения ствола башни обжаты 149 канатами. Суммарный объем помещений и высотных обстроек — 70 тыс. м^3. Полезная площадь помещений башни — 15 тыс. м^2. Максимальное теоретическое отклонение вершины башни при максимальных расчетных скоростях ветра — 12 м. В башне находятся пять грузовых и четыре пассажирских лифта.

На высоте 337 м была оборудована смотровая площадка. Скоростные лифты за 57 с поднимали на нее посетителей. Здесь же был открыт знаменитый вращающийся ресторан «Седьмое небо», вмещавший 240 гостей и имевший три зала — «Бронзовый», «Золотой» и «Серебряный» («Шереметьевский»), расположенные соответственно на отметках 334, 331 и 328 м. Кольцеобразные помещения ресторана совершали круговые вращения вокруг своей оси со скоростью от одного до трех оборотов в час. При обороте ресторана за 40 мин времени как раз хватало, чтобы пообедать и осмотреть всю панораму Москвы с высоты птичьего полета. За все время существования башни ресторан «Седьмое небо» и смотровую площадку посетили более 10 млн чел. Основную часть объема башни занимают технические этажи.

Молнии регулярно ударяют в Останкинскую башню — по несколько сот раз в году. Правда, башня обладает столь сильным полем, что отталкивает от себя электрический разряд. Тогда молнии уходят параллельно стволу и бьют в землю рядом с башней. Самой башне они не страшны, ведь ее создатели задали ей фантастические пределы прочности. Она в состоянии выдержать 8-балльное землетрясение по шкале Рихтера, ураганный ветер силой до 44 м/с, а также отклонение вершины в радиусе до 14 м. Единственное, чего инженеры не могли предотвратить, — элементарная человеческая халатность. Скорее всего, именно она и стала причиной пожара, случившегося в воскресенье 27 августа 2000 г. около 15 часов.

По официальной версии, причиной возгорания Останкинской башни стало значительное превышение нагрузки на фидеры — кабели, передающие сигнал высокой мощности от аппаратуры к антенне. В результате катастрофы погибли три человека: пожарный Владимир Арсюков, лифтер Светлана Лосева и сантехник башни Александр Шепицын. Все они находились в лифте, обрушившемся с двухсотметровой высоты.

Во время пожара от высокой температуры лопнуло несколько десятков тросов, обеспечивающих предварительное напряжение бетонной конструкции башни. Вопреки обоснованным опасениям башня устояла. Впоследствии тросы были восстановлены, как и вся башня в целом. Вместо выгоревшего ресторана «Седьмое небо» в ней должны открыться три новых: «Высота», «Русский бриллиант» и «Юпитер». Трагедия заставила пересмотреть подход к проблемам безопасности, и во время восстановительных работ наибольшее внимание инженеров и строителей было уделено именно им.

Силуэт 540-метровой Останкинской башни, видный даже из центра Москвы, стал неотъемлемым градостроительным акцентом столицы. В то же время телебашня является главной доминантой очень обширного и весьма своеобразного ансамбля, включающего также огромный телецентр (построен в 1964—1967 гг.), Останкинский пруд и дворец графа Шереметева.

Крымский мост

Первым мостом на месте Крымского брода (его название связано с набегами на Первопрестольную крымских татар, которые часто переправлялись в этом месте) был построенный в 1783 г. деревянный Николаевский мост. Через 100 лет его заменили металлическим, имевшим решетчатые фермы. В соответствии с генеральным планом Москвы 1935 г. через Москву-реку было переброшено шесть новых мостов. Одним из них стал Крымский, связавший зону Калужской площади и Парка культуры им. Горького с трассой Садового кольца.

Мост сооружен в 1936—1938 гг. по проекту архитектора А. В. Власова и инженера Б. П. Константинова, которые применили здесь тип висячего моста. До сих пор во всей столице это единственный висячий мост через Москву-реку. Протяженность моста 671 м, ширина — 33 м, длина пролета — около 100 м. Как и остальные новые мосты, Крымский перекрывает набережные, обеспечивая развязки транспорта на разном уровне.

В градостроительном плане то обстоятельство, что мост не «упирается» в набережную, а проходит над ее проезжей частью, дает следующий эффект: объемы близлежащих зданий (в частности, бывшего Института международных отношений, ныне Дипломатической академии Министерства иностранных дел Российской Федерации) оказываются визуально скрадеными. Зато в сопоставлении с ними масштабнее выглядит сам мост. Его изящный силуэт гармонирует с павильонами и зеленью расположенного на другом берегу Центрального парка культуры и отдыха имени Горького.

Замечательный и в конструктивном, и в художественном отношении, Крымский мост является чрезвычайно значимым градостроительным ориентиром — одним из самых приметных среди транспортных сооружений столицы. Однако, если мы включим в рассмотрение наряду с транспортными инженерные объекты Москвы, то будем вынуждены констатировать вполне очевидный факт: как градостроительный ориентир Крымский мост является куда более локальным объектом, нежели Останкинская телебашня.

Поступила 16.09.08.

О СТАНОВЛЕНИИ НАЦИОНАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ

А. С. Алешкин

В статье проанализирована проблема национальной специфики архитектурного облика столицы Мордовии. Указывается на отставание реальной практики архитектурно-дизайнерского проектирования от требований времени. Приводятся примеры художественно-стилистического поиска национального образа некоторых общественных зданий Саранска. Для обогащения предметно-пространственной среды предлагается в качестве прообраза использовать национальный орнамент, опираясь на традиционные пространственные представления народа.

Для Республики Мордовия проблемы национального в архитектуре весьма актуальны. За последние несколько лет произошли значительные (хотя и неоднозначные) преобразования в архитектуре центра столицы республики, и в то же время пока не удалось преодолеть определенную «безликость» нашей архитектуры. Отсутствие национального своеобразия в нашей архитектуре отметила и комиссия Европарламента, изучавшая положение финно-угорских народов в Российской Федерации во время визита в Саранск в 2006 г. С этим трудно не согласиться, но вместе с тем надо отметить, что отдельные шаги в поисках архитектурного национального своеобразия были предприняты еще в советское время.

Говорить о национальном своеобразии в архитектуре дореволюционного периода не приходится, но региональные особенности все-таки существовали. Но это тема иного исследования, а для нас было бы интересно проследить за попытками создания национального своеобразия в архитектуре нашего города в советский и постсоветский периоды.

Одной из первых попыток внести в архитектуру нашего города национальный компонент в советский период было оформление зрительного зала кинотеатра «Октябрь», выполненное в 1950-х гг. архитектором С. О. Левковым и скульптором М. И. Нефедовым. В начале 1970-х гг. Саранский ДСК изготовил серию крупных панелей для типовых жилых домов по проспекту 50 лет Октября в Юго-Западном районе Саранска. Элемент мордовского орнамента, взятый из национальной вышивки, имеет не только функции украшения, но и несет определенную информацию. В мордовской орнаментальной знаковой системе он означает «замкнутое пространство», «сруб», «дом», «защищенное пространство». Один элемент орнамента, расположенный под окном, означал, что там находится однокомнатная квартира, два элемента, соответственно, означают двухкомнатную и три элемента орнамента — трехкомнатную квартиру.

Примерно в это же время при оформлении интерьера Мордовского государственного русского драматического театра и зала заседаний Верховного Совета МАССР были использованы росписи потолков, имитирующие лепной стилизованный мордовский орнамент.

В 1980-е гг. в новых микрорайонах Саранска было возведено немало 9-этажных крупнопанельных жилых домов серии 90, лестничные клетки которых закрывала железобетонная решетка с мордовским орнаментом. К сожалению, этот прием не получил дальнейшего развития, но даже то, что уже было сделано, на мой взгляд, заслуживает огромного уважения.

Одной из первых сознательных попыток создания национального своеобразия в архитектуре стала работа над проектом храма Мордовской лютеранской церкви на улице Кирова. Лютеранский христианский приход в Саранске существовал с XVIII в., но культовых строений не сохранилось. Для разработки проекта храма обратились к архитекторам В. И. Бабакову и Н. И. Безбородову. Их снабдили примерно двумя тысячами фотографий лютеранских храмов Германии, Швеции, Эстонии и Финляндии. При этом просили отразить национальную мордовскую особенность в облике храма. Задача стояла сложная, но благородная. В наших многочисленных встречах и спорах постепенно отбрасывалось то, что не нужно использовать и то, что будет чуждо. Найти новый архитектурный образ и в то же время не выпадать из сложившихся традиций — задача не из простых. На одной из встреч я предложил В. И.

Бабакову оттолкнуться от евангельских слов Христа, сказавшего: «Церковь — моя невеста!» Здесь мы задумали церковь как мордовскую невесту Христа. Я предложил использовать в архитектурном проекте вертикальные орнаментальные вышитые полосы на платье эрзянской невесты как мотив для окон храма. Окраска наружных стен должна была напоминать цвет домотканого полотна, а окна — обрамляться темно-красным кирпичом, напоминающим цвет эрзянской вышивки. Одним из положительных качеств стало и то, что при строительстве пастората был воссоздан старый кирпичный дом, на месте которого предполагалось строительство мордовского лютеранского храма. В этом было и уважение к архитектуре, пусть не самой выдающейся, но все же архитектуре нашего города XIX в.

Особенно актуальным вопросом национального в архитектуре стало проектирование и строительство Мордовского национального театра. Будучи главным художником Мордовского национального театра, я предложил и разработал рельефную эмблему национального театра на портал колосников, выходящий на улицу Советскую. Предложенная в первоначальном варианте проектантами греческая фигура некоей парящей античной жрицы явно не соответствовала ни национальному театру, ни архитектурной ситуации.

В эмблеме театра я оттолкнулся от одного из древних и этнических знаков в мордовской вышивке — изображение «Мирового древа». В мордовском эпосе сказано, что «корни его уходят в глубокое прошлое, ствол его находится в настоящем, а крона его находится в мире богов, в духовном мире». Основным элементом в эмблеме театра стал бронзовый сюлгам. Когда-то он соединял в одежде мордвы две стороны плаща или накидки на плече или у ворота. В действительности, после того как он был застегнут, два его трубчатых элемента опускались вниз. Чтобы увести от буквального прочтения «застежки», я развернул эти элементы вверх, придав эмблеме более торжественное, органное звучание. По проекту, ниже сюлгама, находящегося на фоне «Мирового древа», должны находиться «лапки водной птицы», священного для всех финно-угров знака. Они были изготовлены ульяновскими кузнецами из кованой меди. По замыслу, они при малейшем ветерке должны издавать мелодичный перезвон. В XIX в. русский ученый и исследователей мордвы И. Н. Смирнов писал, что «вначале мордовку услышишь и только потом увидишь». В этом отражалась любовь мордовских женщин к «шумящим подвескам».

В самом облике здания театра архитекторам пришлось исходить в основном из функциональных задач и от сжатости территории. Им предстояло вместиться в границы старого здания театра. Найти в архитектурном облике национальное было не под силу и из-за короткого срока, и из-за непонимания архитекторами мордовского национального менталитета.

Много были также разработаны эскизы орнаментального фриза, трех орнаментально-символических розеток на тонированном стекле по улице Советской и двух, находящихся на фасаде театра, а также орнамент на колонны театра. Первоначально за разработку этих элементов взялись московские специалисты. Взяв подлинный орнаментальный элемент из эрзянской вышивки, они расчленили орнаментальную полосу на повторяющиеся сегменты, и то, что в мордовском орнаменте располагалось традиционно по вертикали, стали располагать по горизонтали на фасадном фризе. Нелепость стала очевидна, когда несколько сегментов этого фриза были установлены на фасаде по улице Советской. Видоизмененный элемент орнамента даже для непосвященных зрителей стал нести пластически выраженную мысль — «противостояние».

Учитывая то, что знаковая система геометрического мордовского орнамента стала предметом изучения не только в нашей республике, но и в институтах дальнего зарубежья, рано или поздно бездумное использование геометрического орнамента станет очевидной демонстрацией нашего непонимания смысловой нагрузки орнамента.

Серьезно и глубоко расшифровкой геометрического орнамента, в том числе и мордовского, занимается профессор Таллинской Академии художеств Тынис Винт. В поисках методов расшифровки орнамента мы с ним не раз сверяли трактовки геометрических знаков. Его авторитет в мире настолько высок, что даже японские специалисты обращаются к нему за расшифровками древних японских иероглифов и элементов орнамента.

В вертикальном орнаментальном ряду на колоннах театра в своей разработке я исполь-

зовал традиционный для мордовской орнаментики элемент, означающий «замкнутое пространство, защищенное снаружи по внешним углам квадрата-сруба-дома, условными изображениями лошадиных голов, с крестом внутри квадрата, означающего знак Солнца».

В трех декоративных орнаментальных розетках, расположенных на тонированных стеклах театра по улице Советской и двух, расположенных на фасадной части театра, я использовал элементы мордовского орнамента несущего понятие «Солнце, Добро, Тепло, Открытость». Этот знак использовался во многих древних культурах, в том числе и в мордовской вышивке. В орнаменте на фризе я также использовал один из вариантов солярного знака мордвы. В целом, комплекс из орнаментальных фризов, розеток, эмблемы на колосниках придали театру именно национальный колорит.

Поиск национальной формы стал актуальной задачей учебного архитектурного проектирования на архитектурно-строительном факультете МГУ им. Н. П. Огарева. В 2008 г. студентами выполнены два оригинальных проекта на тему культового зодчества. О. Ю. Пивцаева представила проект православной приходской церкви в с. Подлесная Тавла, а В. В. Белякова и Ю. А. Царева — лютеранского комплекса в г. Ковылкино (руководитель — профессор В. Б. Махаев). Включая задания по орнаменту для студентов архитектурно-строительного факультета специальностей «Искусство интерьера», «Дизайн архитектурной среды» и «Архитектура», в том числе по мордовскому геометрическому орнаменту, мы надеемся, что наши выпускники после окончания обучения смогут использовать в архитектурных проектах национальные мотивы, что, несомненно, придаст нашему городу «лица не общее выражение».

Конечно, введение в архитектуру национального орнамента еще не даст нам права говорить о зарождении подлинно национальной мордовской архитектуры. Кроме того, бездумное или спекулятивное использование национального орнамента ведет в прямо противоположную сторону, по легкому, но шаткому пути. Становление подлинно национальной мордовской стилистики в архитектуре — процесс долгий и многоплановый. Десятки, даже сотни компонентов участвуют в этом: традиционные материалы, особенности национальной планировки. Но в первую очередь следует назвать именно мордве присущее ощущение пространства, которое необходимо осмыслить уже с современной точки зрения. Для восточных районов республики, заселенных эрзей, со второго тысячелетия до нашей эры было характерно размещение жилья в лесных массивах, защищавших наших предков и от ветров, и от нашествий кочевников. По менталитету большинство эрзи выбирают места для жительства предпочтительно в лесных зонах.

Для мокшан, проживавших традиционно в лесостепных зонах, предпочтительны открытые пространства. Даже переезжая в Сибирь или на Урал, мокшане находили территории для заселения, схожие с традиционными местами проживания (Троицкий район Челябинской области, с. Мокшан или с. Калиновка Сорочинского района Омской области). Эрзяне, после терюшевского восстания в XVI—XVII вв. высланные на Урал из лесных регионов ареала проживания, поселились в Оренбургской области в местах, похожих на лесные села, такие как Мурань в Кочкуровском районе или Черная Промза — в Большеберезниковском.

Народам, сложившимся в степной зоне, для комфортного самочувствия очень важно иметь возможность видеть как можно дальше. Л. Н. Гумилев утверждал, что монгол мог видеть на расстоянии 20 км голову казака, выглянувшего из-за камня. Огромную роль ландшафта в формировании русского национального характера признавал академик Д. С. Лихачев. Освоение пространства архитектурными средствами в конечном счете отражает и менталитет народа, одновременно формируя его для будущих поколений.

Поступила 16.09.08.

СЕМАНТИКА ДЕКОРА КРЕСТЬЯНСКОГО ЖИЛИЩА МОРДВЫ

М. В. Сульдинский

В статье проанализирован декор крестьянского жилища мордвы с семиотической точки зрения. Охарактеризована знаково-символическая природа средневекового крестьянского жилища, раскрытая посредством символического описания жилого пространства в связи с языческими ритуалами и фольклорными образами. Описаны связь ритуальной практики освоения мордвой жилого пространства и семантика декора. Делаются выводы о месте в мордовском жилище христианских символов, об утрате архаического сакрального смысла и замене его внешним украшательством.

Исходным моментом исследования текстовой природы декора мордовского жилища стала работа «Ceremissen, Mordwinen, Esten und Finnen» (1888) финского этнографа А. О. Гейкеля, до сих пор не переведенная на русский язык [12]. В ней представлены рисунки мордовского жилища конца XIX в. с характерными резными украшениями, зафиксированными в двух селах: Каргашино, населенном мордвой-мокшей, и Дракино, населенном мордвой-эрзей (бывший Спасский уезд Тамбовской губернии, современные Зубово-Полянский и Торбеевский районы Мордовии). Судя по указанным рисункам (рис. 1), жилище мордвы во многом повторяло русскую избу. Например, конструкция крыши дома и декоративное оформление фронтона у мордвы были аналогичны русским образцам. Сходными были и некоторые названия, приведенные исследователем: «крылье» — резная доска на фронтоне мордовского дома, которая выполняла прежде всего,утилитарные функции — защищала выступающие торцы слег от дождя и снега (рис. 2) [7, с. 299; 8, с. 20]. «Конек» [11, с. 40] у мокшан — резная доска под коньком на фронтоне крыши (рис. 3).

Проведение нами расшифровки символики резного декора жилища мордвы по рисункам Гейкеля сопряжено с определенными сложностями, поскольку исследователь не был профессиональным чертежником и не имел представления о сечениях и разрезах, передающих наиболее точное изображение интересующих нас объектов. Анализ его рисунков позволяет сделать общий вывод: в оформлении жилища мордвы в названных селах преобладали геометрические и городочные украшения — прямоугольные, четырехугольные, прямолинейные, дугообразные. Данный комплекс символов резного узорочья мордовской крестьянской избы представляют следующие элементы, широко распространенные в культуре индоевропейских народов:

1) горизонтальная линия — древнейший знак горизонта, водно-земной поверхности;

2) вертикальная линия — вероятно, луч света, не имеющий ни начала, ни конца, как простейший образ (символ), активно действующий основной элемент сотворения мира [1, с. 32];

3) чаша, дуга. Это и чаша для омовения, и сосуд с жидкостью, и пруд (озеро, море),

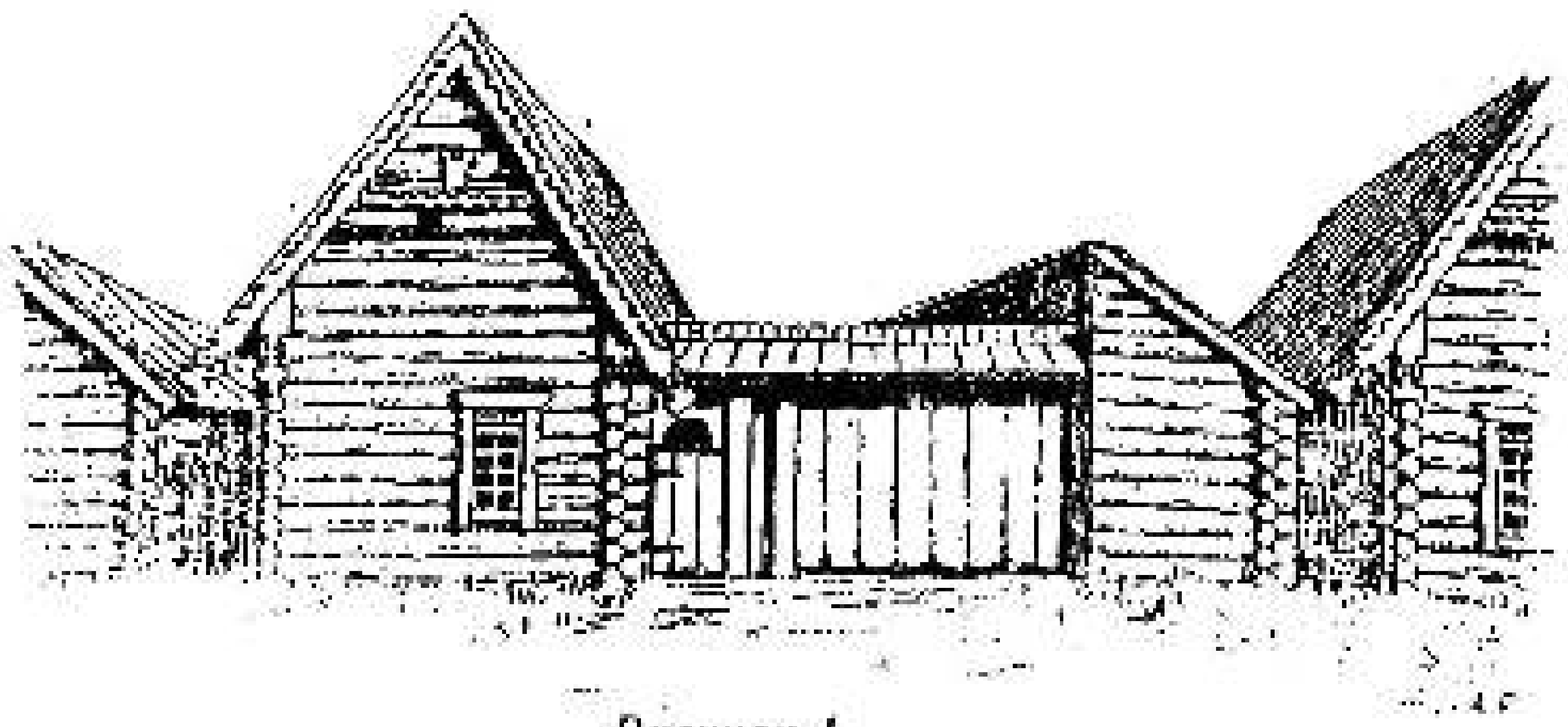


Рисунок 1
Мокшанский двор

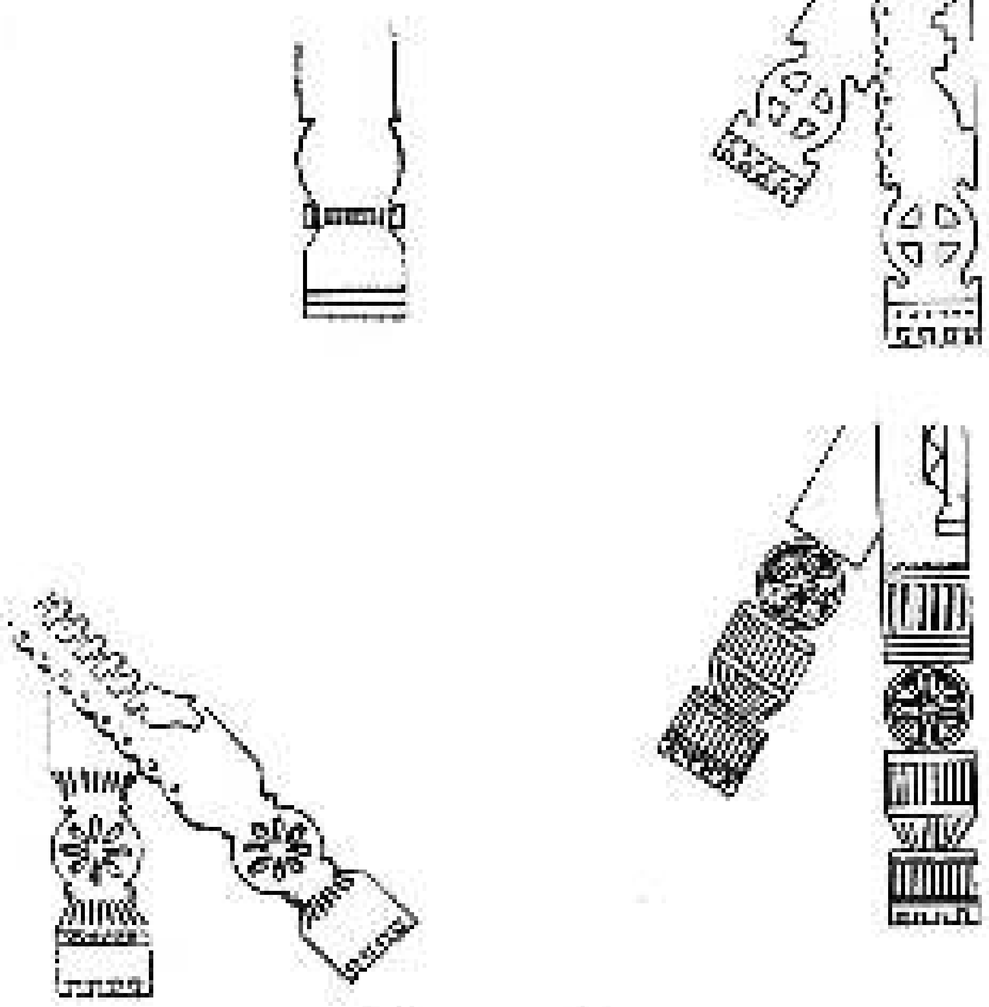


Рисунок 2
Крылья. Села Каргашино и Дракино Спасского уезда тамбовской губернии

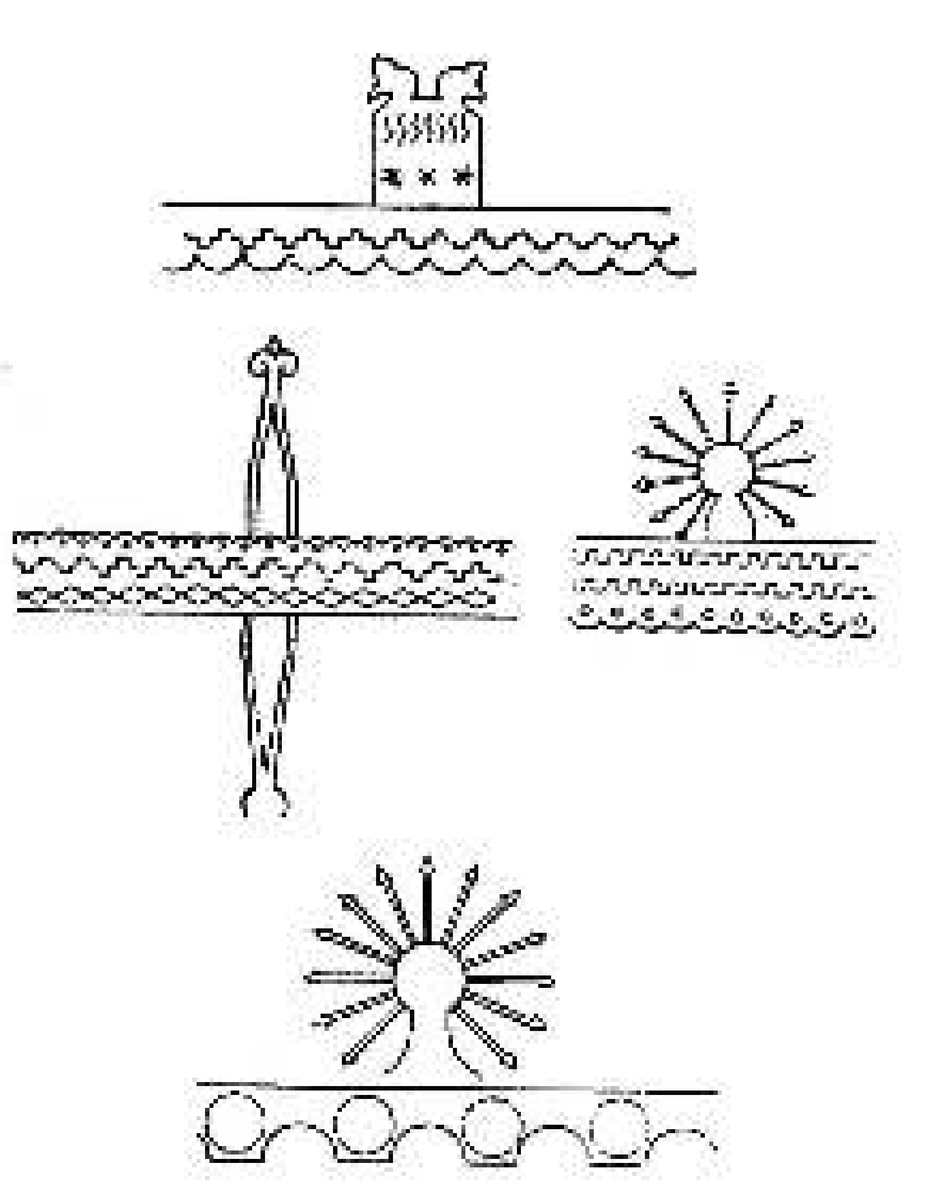


Рисунок 3
Конек. Тамбовская и Пензенская губернии

ограждённый берегами, т. е. всевозможные объекты, которыми, «правит» Луна, влияющая на морские приливы и отливы, а также на приток и отток жидкости в организме, особенно женском [1.с. 257];

4) треугольник, встречающийся в двух разновидностях: вершиной вверх и вершиной вниз. Треугольник, обращенный вершиной вверх, олицетворяет «макрокосм» — все, что выше и дальше человека за пределами Земли [3, с. 40]. Для европейских алхимиков он означал язык пламени, «мужской огонь» [1, с. 6]. Треугольник, обращенный вершиной вниз, — «микрокосм», т. е. уровень бытия ниже и меньше человека [4, с. 32], а также знак женского начала, плодородного лона. У европейских алхимиков он символизировал воду, которая льется с облаков вниз, на землю [1, с. 36]. Треугольник как один из элементов узора, по мнению некоторые специалистов в области орнаментации дерева, мог обозначать вульву (женский детородный орган) [9, с. 49; 10, с. 78]. Как знак это универсальная исходная форма для других, более сложных элементов. Так, зигзаг при украшении конька образовывался двумя рядами треугольных выемов, сходящихся вершинами навстречу друг другу. На отдельных наличниках трехгранно-вкемчатая резьба в виде зигзагов покрывает значительную часть поверхности их карнизов — в один, два ряда, иногда оделенных друг от друга параллельными линиями;

В отдельных случаях треугольники вершиной вверх располагаются над горизонтальной линией, означая начало рассвета: солнечные лучи — языки пламени показались над горизонтом, освещая землю.

5) квадрат — сокращенная запись понятия «мандала», знак материального мира, составленного из четырех стихий, которым в свою очередь, соответствуют четыре стороны света;

6) ромб. Он встречается не только у мордвы, но и у русских, украинцев, белорусов, эстонцев, коми, карел, хантов и манси. По происхождению этот знак уходит в глубины тысячелетий. У названных народов ромбический орнамент вышивался, например, на свадебном платье невесты.

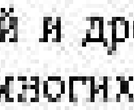
В целом функционирование ромбического орнамента в декоративно-прикладном искусстве мордвы, особенно в вышивке одежды

женщин детородного возраста, связывается с плодородием, плодоношением. Интересную трактовку ромбу дает художник А. С. Алещкин, считающий, что, вышиваемый на одежде девушки, он символизирует пройденный ею обряд инициации и служит указателем достижения возраста, когда она может, как и все живое в природе, плодоносить, рожать [9, с. 50; 10, с. 78]. В. И. Рогачев пришел к выводу о тесной взаимосвязи семантики ромба как знака со свадебной обрядностью и высказал предположение, что «ромбический орнамент на паре невесты является отражением свадебных мотивов, символизирует плодородие, достаток, счастье в молодой семье и является своего рода пиктографическим письмом — благопожеланием» [9, с. 50; 10, с. 79].

В некоторых источниках имеется более сложная интерпретация ромба как графического символа матки, вульвы, плодородия и, в некоторых контекстах, невинности. В христианском искусстве этот «...символ богини плодородия — стал символом непорочности Девы Марии...» [9, с. 50; 10, с. 79]. Встречаются и другие трактовки ромба. У родственных мордве хантов отдельно взятый ромб несет еще одну семантическую нагрузку: они называют его *сам пот* — «сердца углубление». Понимание квадрата, поставленного на угол, указывает на его отождествление с ромбическим углублением на конце, так называемой линии жизни у деревянных антропоморфных изображений. Финно-угры ромб, находящийся внутри стилизованного изображения, отождествляли с понятием «внутренняя душа» в замкнутом пространстве. Выступающий как полисемантический символ, в зависимости от местонахождения он изображает жизненно важные органы — «голову» и «сердце»; кроме того, мыслится как «вместилище души» [9, с. 50].

К сказанному добавим, что ромб как символ развития — излюбленный мотив в украшениях мордовской крестьянской одежды, одежды народа-земледельца. Квадрат и ромб означали также поле [11, с. 481];

7) зигзаг. Знак в виде опоясывающего зигзага имеет большое распространение на карнизах наличников и на некоторых «крыльях» (рис. 5). Это простейший и древнейший орнамент, характерный для многих народов, один из первых опытов постижения людьми ритмически упорядоченных процессов и явлений природы. В. И. Рогачев отмечает популярность подобного орнамента не только у мордвы, но и других уральских народов. С зигзагом связана идея живого, одушевленного, за ним закреплены функции оживления неживого, охрана жизни. Например, у селькупов «каждый отрезок, каждый зигзаг... означает отрезок жизни, а значит, чем больше зигзагов, чем длиннее ломаная линия, тем дольше жизнь» [9, с. 51; 10, с. 79]. Таким образом, зигзагообразный орнамент означает пожелание длительной счастливой жизни. Зигзаг наиболее прочно отождествляется с деревом; чем он ветвистее, тем больше в нем жизни. Зигзаг-дерево — символ огораживания живого от неживого: согласно православной традиции, во время проводов покойного по пути следования разбрасывают ветки хвойных деревьев.

Зигзаг наносился у мордвы на пари, чулки, наколенники, во время шитья бисером и т. д. Интересным является то, что у финно-угров квадрат (ромб), поставленный на угол зигзага, символизирует «голову» [9, с. 51—52]. Существует еще один вариант его трактовки: «Зигзагообразный орнамент на пари — не что иное, как изображение змеи, которая охраняет содержание эрямо пари, или ужа — слуги Ведь-авы, обеспечивающей плодородие. В этом случае зигзаг, выполненный по краю изделия... обеспечивал плодородие, играл охранительную функцию... У многих финно-угров зигзаг — изображение живого существа — рыбы:  На эту мысль наталкивает линейный зигзаг, чередующийся с изображением рыбы. В каменном веке в тех случаях, когда такие фигуры изображали отдельно от животных, они могли приобретать и значение орнамента, вполне семантизированного, тесно связанного с тем или иным конкретным образом» [9, с. 52—53; 10, с. 79—80].

На наиболее древних мордовских парях имеется зигзагообразный орнамент, обрамленный двумя параллельными рядами крупных отверстий-проколов, примерно на треть толщины стенок, что в первобытном искусстве могло обозначать изображение рыбы. В мифологических представлениях мордвы рыба занимает важное место, так как считалось, что на трех рыбах покоится Земля. Рыба так-

же символизировала плодородие. Лучшим подарком при жертвоприношениях Ведь-аве считалась рыбья голова. В представлении уральцев довольно много ассоциаций с водной стихией. Так, по мифологии финно-угров, дикая водная птица — демиург — создала Вселенную и дала жизнь. Вполне возможно функционирование подобного символа в приведенном выше значении и в мордовском декоративном искусстве [9, с. 53].

Менее распространенными мотивами являются орнамент «елочка» (горизонтальная) ****** и косые штрихи ////////, встречающиеся на очелье одного из наличников (рис. 4). Значение этих узоров в первобытном искусстве расшифровывается как изображение лошади, где каждые две черточки знака символизируют животное. «Косой штрих, — полагал В. И. Рогачев, — вполне может изображать «небесную влагу», струи благодатного дождя, орошающего посевы» [9, с. 53, 10, с. 80]. Учитывая важную роль лошади в натуральном хозяйстве крестьянина, нетрудно понять, почему этот символ, легко преодолев временные барьеры, сохранил первоначальный смысл;

8) конь. Данные археологии показывают, что изображение коня было широко распространено в искусстве лесной полосы в I и начале II тыс. н. э. Конь, бывший неотъемлемой частью жизни земледельцев, всегда служил символом добра, благоденствия, плодородия. Его образ олицетворял солнечную силу. Один из «коньков» на рисунке в книге Гейкеля (рис. 6) украшает резная накладная дощечка, изображающая двух коней с обращенными в противоположные стороны мордами. Кроме того, на ней имеются огненные знаки в виде молнии и шестилучевой звезды.

В. И. Рогачев, опираясь на данные марийской исследовательницы А. В. Павловой, высказал мысль, что в удвоении образа коня в художественном оформлении крестьянского жилища нашла отражение идея космического дуализма. Павлова утверждала, что двухголовые коньки являлись своего рода носителями комплекса представлений о трех мирах вселенной, воплощая одновременно и ее противоположные начала (день — ночь, право — лево и др.). Исследователь сделала предположение о взаимосвязи симметричных, зеркальных композиций и представлений о «мировом древе» и группировке относительно него всех явлений мира. Даже отсутствие изображения дерева не исключает его образа как некоего центра, делящего мир не только по горизонтали, но и по вертикали. Идея центра в горизонтально ориентированной композиции, утверждает она, передается путем изображения пары животных — символа противоположных, но неразрывных начал [10, с. 62—63];

9) колесо с четырьмя спицами (крест в круге). У славян крест в круге символизировал солнце в четырех годовых периодах: весеннем, летнем, осеннем и зимнем. Он выполнял защитную функцию [3, с. 33]. Но чаще всего солнце, особенно на очельях и нижних частях наличников, изображено в виде эффектной, броской и в то же время лаконичной геометрической розетки.

По мнению В. И. Рогачева, «возникновение этого знака объясняется результатом древних контактов с ираноязычными племенами, относящимися к индоевропейской семье» [9, с. 43—44]. Заслуживает внимания и другая версия его происхождения. В орнаменте жилища коми, карел, русских Онежского Севера шести- и восьмиконечная розетки читаются как «полисемантичный „громовой знак", знак неба, выражающий идею солнца, света, всего мироздания, макрокосма, и поэтому они становятся рядом. В народном искусстве эта идея чаще всего выражается с помощью круга с радиально расходящимися от центра лучами, шести- и восьмилепестковой розеткой, взятой в круг». Это прямо соприкасается с использованием подобного знака в украшении жилища мордвы «для защиты от удара молний, от грома, по аналогии с тем, как это делалось у русских... знак, изначально являясь астральным символом, нес в себе и обереговую функцию» [9, с. 44]. Однако В. И. Рогачев не отрицал и возможности, «что идею шестилепестковой розетки древний человек, близкий к природе... увидел в простой снежинке (а не заимствовал с юга) и посчитал небесным провидением... и потому стал изображать его на жилище, предметах быта, одежде, используя как универсальный знак в качестве оберега и от природных стихий, и как символ покровительства небесных сил» [9, с. 44].

Помимо вышеперечисленных символов, на очелье одного из наличников (рис. 4) присутствуют два знака, каждый из которых напоминает буквы S, скрещенные в виде свастики.

В украшении фронтона крыши мордовской избы солнце предстает в динамике движения, в разных суточных фазах: утро — полдень — вечер. Тщательнейшим образом изображались и «хляби небесные» верхнего неба, и солнце, восходящее над землей, и архаичные знаки земного плодородия. Нередко «крылья» мокшанских изб украшались в два-три ряда. Верхний был занят узором в виде пропиленных небольших зубчатых (ступенчатых) городков, который на расстоянии воспринимался как волны, либо прямоугольников, или зигзаговой линией, являющейся архаичной и устойчивой идеограммой, в данном случае — «хлябей небесных», недосягаемых дождевых запасов. Часто этот мотив дублировался округлыми выступами на нижней кромке крыльев (идущими непрерывно). Такая специфика орнамента объясняется, несомненно, тесными историко-культурными связями мокшанского населения с соседями — русскими, в узорах которых подобные мотивы играли большую роль.

Утро. Солнце, помещенное на нижнем конце правого «крылья» под стилизованным изображением горизонта, т. е. ниже знаков земли, символизирует начало дня, рассвет, утро.

Полдень. Солнце в зените изображено на «коньках» над водно-земной символикой в виде круга с расходящимися лучами-стрелами. Подобная символика восходит к сельскохозяйственным пожеланиям — благоприятной погоды и богатого урожая.

Земледельческие народы обожествляли солнце и наделяли его сверхъестественными силами. Божеством солнца у мордвы считался Чи-паз, или Ши-бавас (э. *чи*, м. *ши* — солнце, э. *паз*, м. *бавас* — бог). Как пишет К. С. Милькович, Чи-пазу (Ши-бавасу) даже приносили жертвы [6, с. 72].

Один из «коньков», представленных на рисунке в книге Гейкеля, вызывает особый исследовательский интерес (рис. 3). Его венчает накладное изображение в виде стилизованной фигурки человека. Возможно, это мордовский аналог славянской Макоши — богиня Норов-ава (Пакся-ава), держательница, покровительница и хозяйка поля, с которой связывались надежды крестьян-земледельцев на урожай [6, с. 51—52]. Снизу к «коньку» прикреплены два луча-«ножки», образующие круг. Вероятно, это стилизованное изображение Чи-паза (Ши-бавваса). Как и Норов-ава (Пакся-ава), он, по представлениям мордвы, был причастен к сельскохозяйственным работам: в период уборки урожая крестьяне просили его благословить на труд и благодарили за свое хорошее здоровье во время полевых работ [6, с. 72]. Подобная трактовка на наш взгляд в наибольшей мере соответствует смыслу изображения. Ей отвечает и цепочка ромбов на «коньке», обозначающая поле.

Что касается мордовских наличников, то они остались за пределами внимания этнографов. Отсутствие сводного исследования, а также полной картотеки, отражающей этот ценный источник народного искусства и его семантику, крайне затрудняет обобщение столь важного материала.

Орнаментальные композиции наличников, представленные Гейкелем, с известной долей условности можно разбить на три группы (рис. 4). В первую входят наличники с преобладанием солнечных и сопутствующих им огненно-световых знаков, выполняющих функцию защитного оберега, который применялся для дома в целом. Солярный знак (полусолнце) мог занимать срединное положение над окном, как и троичная солнечная композиция. Иногда помещением знаков сверху и снизу окна обозначался суточный ход солнца. Над солнцем изображались запасы воды на небе, так называемые «хляби небесные» в виде волнистых линий и зигзагов. «Хляби» идут по всему карнизу, отделяя небесную сферу.

Другую группу составляют наличники, отличающиеся от предыдущих отсутствием «хлябей небесных» (карниз ровный, горизонтальный). Особенностью их композиции следует считать наличие вертикальных линий и знаков, напоминающих букву S и скрещенных в виде свастики, а также соляных знаков, помещенных снизу окна.

Третья группа наличников отличается от предыдущих большей сложностью композиции, представленной треугольниками, сходящимися вершинами навстречу друг другу и образующими зигзаг; ромбами (на карнизе), орнаментом «елочка» (горизонтальная) и косыми штрихами, а также некоторыми знаками (так называемыми сьормат), зафиксированными еще В. Н. Майновым, дающими объяснение их значения (в частности, прямоугольниками, представляющими дом; выгнутыми к вогнуты-

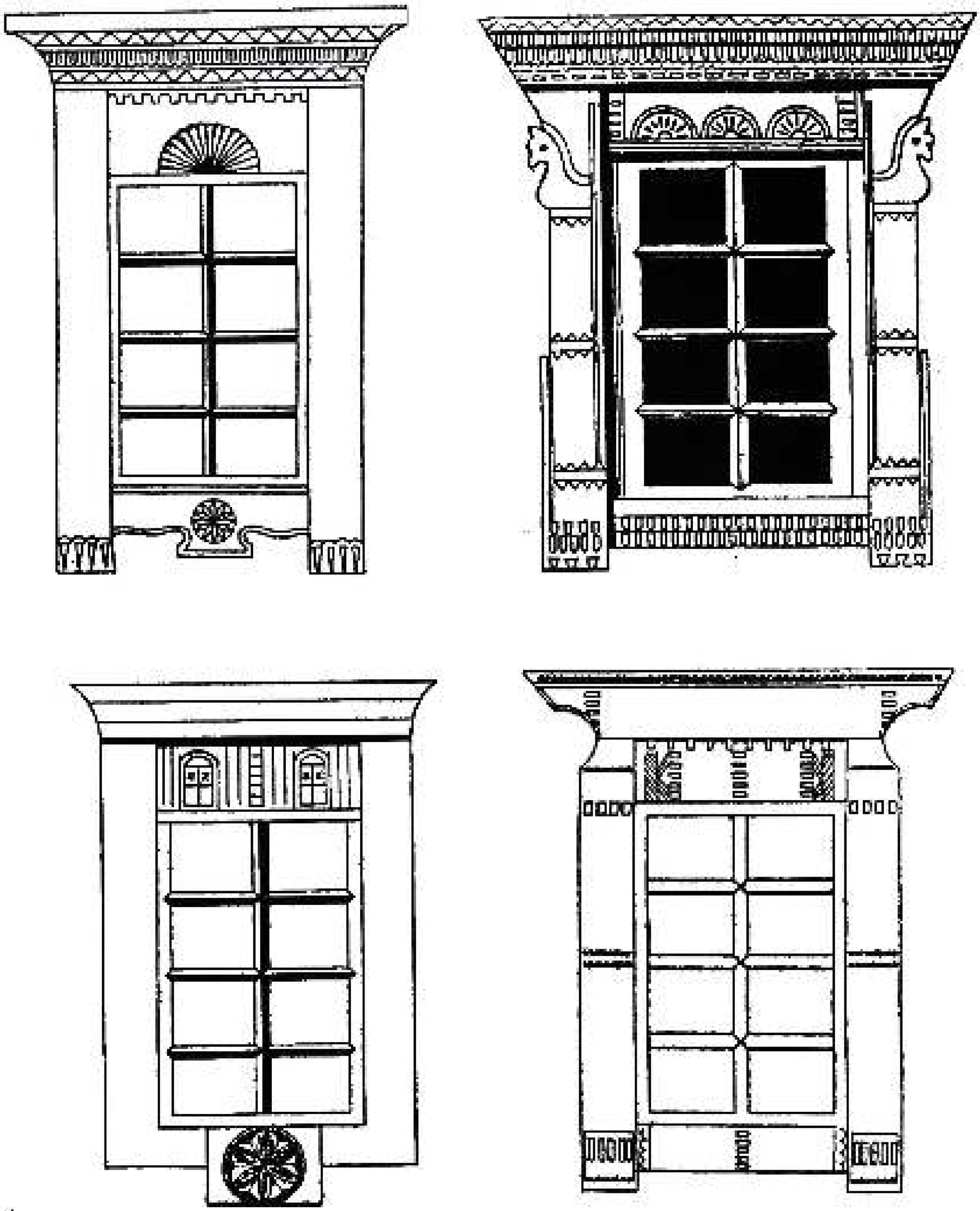


Рисунок 4
Наличники.
Село Каргашино Спасского уезда Тамбовской губернии

ми кривыми линиями, означающими соответственно лодку и дугу, и т. д.). Это затрудняет расшифровку. Идея композиции существенно отличается от характерной для первой группы, где выражено стремление передать земледельческую картину мира с ее водными небесами и движущимся солнцем. Подобные мотивы практически не встречаются в декоре русских крестьянских изб.

Отметим такую особенность: на «крыльях», а иногда и на очельях наличников резные украшения располагаются в строго определенном порядке: верхнюю часть занимают знаки воды и земли, а нижнюю —

солнце с присущей ему огненной символикой.

Одним из главных украшений внутри дома была печь. Верхнюю и среднюю части ее фундамента покрывают волнистые зигзагообразные линии. Данное обстоятельство позволяет высказать предположение о том, что орнамент может быть связан с загадками и свадебными обрядами, где процесс поддержания огня и приготовления хлеба, в частности действия с кочергой и хлебной лопатой осмысляются как супружеские отношения. Кроме того, существующая интерпретация зигзагообразного орнамента как символа воды также может обусловливать символическое значение печи, актуализированное в свадебном и родильном обрядах, где она олицетворяет рождающее женское лоно. На средней части печи виден также зигзагообразный орнамент (рис. 5).

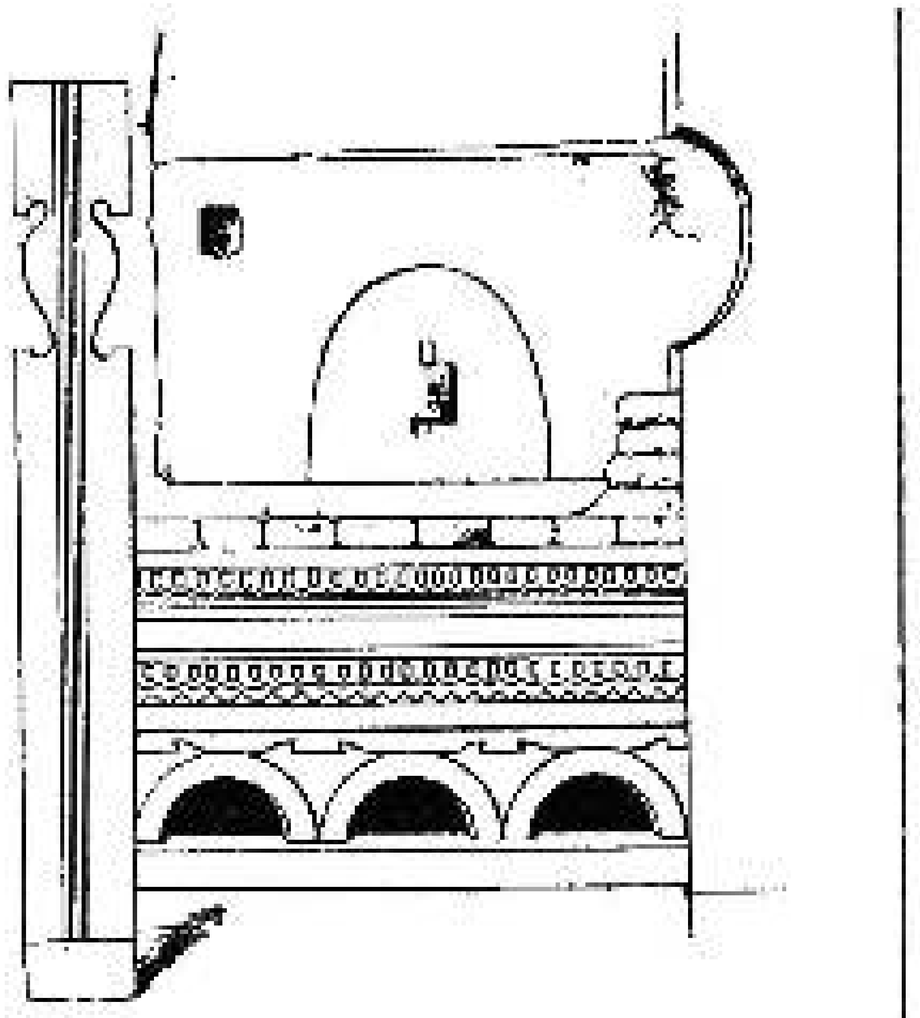


Рисунок 5
Украшения печного столба и фундамента печи. Село Каргашино Спасского уезда Тамбовской губернии

Необходимым элементом убранства жилья, служащим как для повседневной, так и для праздничной трапезы, был стол (как правило, один). Он постоянно находился в красном углу. Обеденные столы в мокшанских деревнях в конце XIX в. по форме весьма напоминали столы соседних русских селений и вырабатывались упрощенно — на брусчатых ножках, соединенных по низу перекладинами с неширокими подстольем, с плоским выдвижным ящиком, предназначенным для хранения столовых приборов и принадлежностей, и длинной, выходящей для удобства сидения за пределы боковых сторон стола, столешницей. Однако в деталях мокшанских столов отразилась местная техника украшений: обработка трехгранно-выемчатой резьбой. На наш взгляд, ее сюжет отражает особую роль стола, как и всего застольного пространства, в свадебном ритуале. Он является центром наиболее ценной в ритуальном значении частью дома.

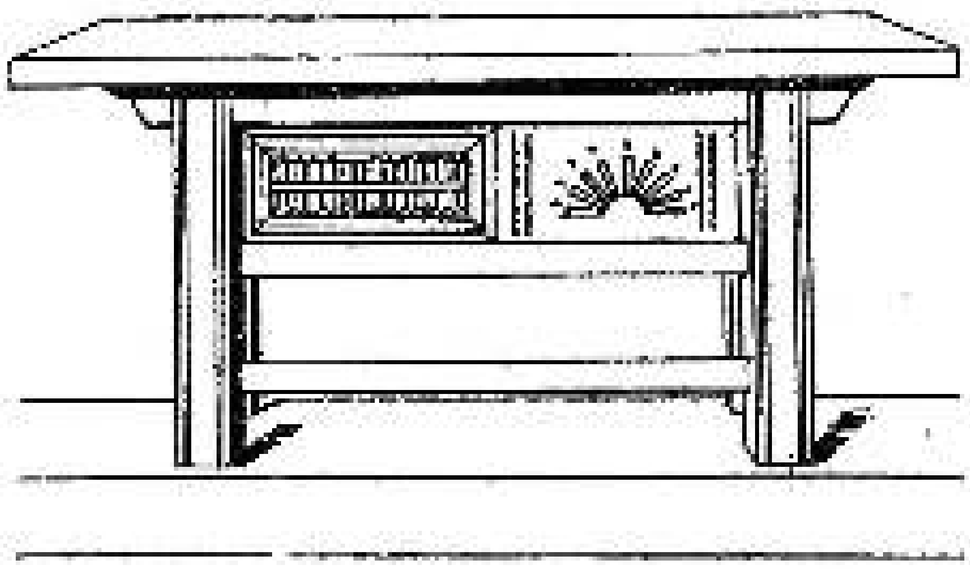


Рисунок 6
Стол. Село Каргашино Спасского уезда Тамбовской губернии

Особым семиотическим статусом обладала лавка у двери, называемая русским термином «коник». Название она получила от традиционной художественной отделки: верхняя часть (так называемая боранка) значительно возвышалась над сиденьем и завершалась резным изображением конской головы — стандартной детали декоративного оформления жилища (рис. 7). На конике спал хозяин. В ящике под сиденьем хранились необходимые ему инструменты и материалы. Здесь он в зимнее время работал: чинил сбрую, плел лапти и т. п. [2, с. 173; 5, с. 69; 7, с. 298; 12, с. 36, 55]. Коник актуален для номинации элементов как восточнославянского, так и мордовского жилища («коньки» на крыше, резная доска на фронтоне и т. п.). Первоначально боранка представляла собой примитивную круглую завитушку с отверстием

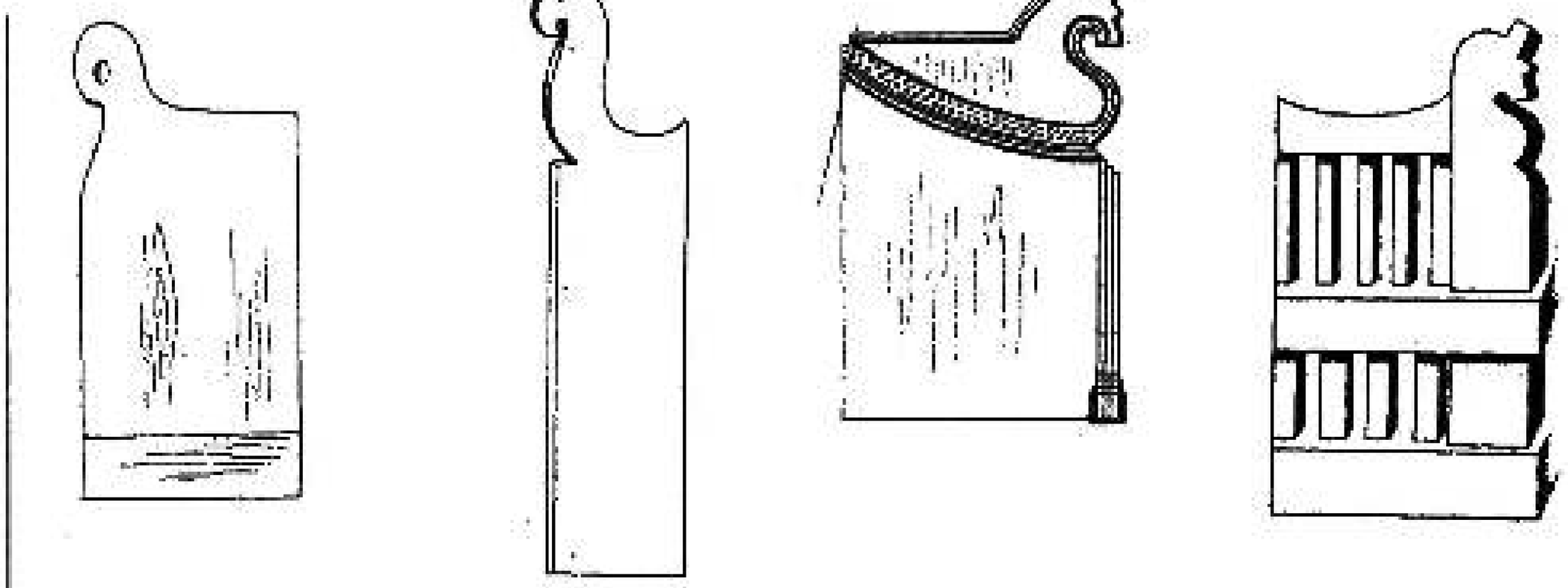


Рисунок 7
Боранка.
Села Каргашино, Дракино Спасского уезда Тамбовской губернии и Сучкино Саратовской губернии

в центре. Иногда коник выполнялся в виде высокой толстой широкой доски, закрепленной вертикально возле двери, отгораживавшей короткую, или «мужскую», лавку от входных дверей, и заканчивавшейся сверху плавным завитком, довольно отдаленно напоминавшим конскую голову (что было уже некоторым усовершенствованием первоначальных примитивных форм боранки). В дальнейшем развилась более сложная форма боранки, богато украшенная резьбой. Наконец, на заключительной стадии эволюции коник фактически превратился в кровать, получившую широкое распространение в крестьянском быту (см. рис. 7). Боранка по-прежнему оставалась простой в исполнении вырезанной из дерева конской головой, но фактически являлась лишь элементом спинки подобной кровати с брусчатыми столбиками (подражанием городским никелированным кроватям).

В результате анализа изображений на таких важнейших элементах экстерьера и интерьера жилища, как печь и отчасти наличник, мы пришли к выводу о том, что их орнаментация имела сакральный, магический характер. Вся орнаментально-знаковая система этих предметов связана с пожеланиями плодородия, богатства, счастья и благополучия в семейной жизни, в воспитании детей, в земледельческом труде; со свадебными мотивами.

Резюмируя сказанное, мы приходим к заключению о том, что орнаментика жилища мокшан и эрзян представляла собой синтез элементов финно-угорской и древнеславянской языческой культуры, в которой отражен комплекс космогонических представлений.

На основании приведенного анализа можно сделать следующие выводы:

— если на архитектурном облике мокшанской крестьянской избы, в частности, в распространении архитектурных деталей двускатной кровли, имеющих определенное утилитарное значение и в то же время играющих декоративную роль (досок, набитых поверх торцов бревен и различных зазоров), прослеживается преемственность традиций русской домостроительной культуры, то на характер архитектурных украшений влияли наиболее ранние художественные традиции различных видов декоративно-прикладного искусства;

— несмотря на принятие христианства, среди мордвы юго-западных районов мордовского края сохранялись языческие представления, что находило отражение в символике резного декора; на это указывает также отсутствие каких бы то ни было христианских символов, исключая изображение креста в круге. Но символика креста уходит корнями в дохристианское время;

— древние солярные и земледельческие символы, использовавшиеся в мордовском жилище, выполняли магическую, заклинательную функцию, которая ослабевала по мере усложнения и развития хозяйственной деятельности. Со временем на первый план стало выступать эстетическое отношение к знакам как к декоративным элементам и смысловое значение орнаментальных знаков-символов заменялось

Иллюстрации к статье В. Б. Махаева «Архитектурный комплекс Мордовского университета: прошлое, настоящее и будущее»



Проект Музея университета и учебного корпуса на углу ул. Пролетарской и Богдана Хмельницкого (автор — студентка Н. С. Боброва, руководители — профессор В. Б. Махаев, доцент В. Н. Бабиков)



Проект корпуса Института национальной культуры (автор — архитектор Н. Н. Абдуллин)



Проект университетской православной церкви и учебного корпуса архитектурно-строительного факультета по ул. Б. Хмельницкого (автор — студентка И. С. Боброва, руководители — профессор В. Б. Мохнев, доцент В. И. Бабаков)



Проект учебного корпуса с выставочным залом Института национальной культуры по ул. Полежаева (автор — студентка И. С. Боброва, руководители — профессор В. Б. Мохнев, доцент В. И. Бабаков)



Проект спецшколы при МГУ им. И. П. Огарева на ул. Б. Хмельницкого (автор — студентка И. С. Боброва, руководители — профессор В. Б. Мохнев, доцент В. И. Бабаков)



Проект учебного корпуса архитектурно-строительного факультета по ул. Б. Хмельницкого (автор — студентки Н. С. Боброва, руководители — профессор В. Б. Михаев, доцент В. И. Бабков)



Проект студенческого общежития в студгородке (авторы — архитекторы Н. Н. Абдуллин, О. К. Бикбулатов)



Проект студенческого общежития по ул. Б. Хмельницкого (авторы — архитекторы Н. П. Абдуллин, О. К.

Иллюстрации к статье А. С. Алешкина «О становлении национальной архитектуры Республики Мордовия»



Лютеранская церковь прихода Вельмяка по ул. Кирова (авторы — архитекторы В. И. Бабаков, Н. И. Безбородов)



Декоративное украшение фасада Государственного мордовского театра (автор — художник А. С. Алешкин)

Иллюстрации к статье Н. Ю. Лысовой
«Живописная репрезентация городов Италии в отечественном искусстве XVIII — начало XX века»



Ф. Матвеев. Вид Рима. Колизей (1816)



С. Щедрин. Колизей (1819)



Ф. Матисси. Вид Римской Кампаньи (1819)



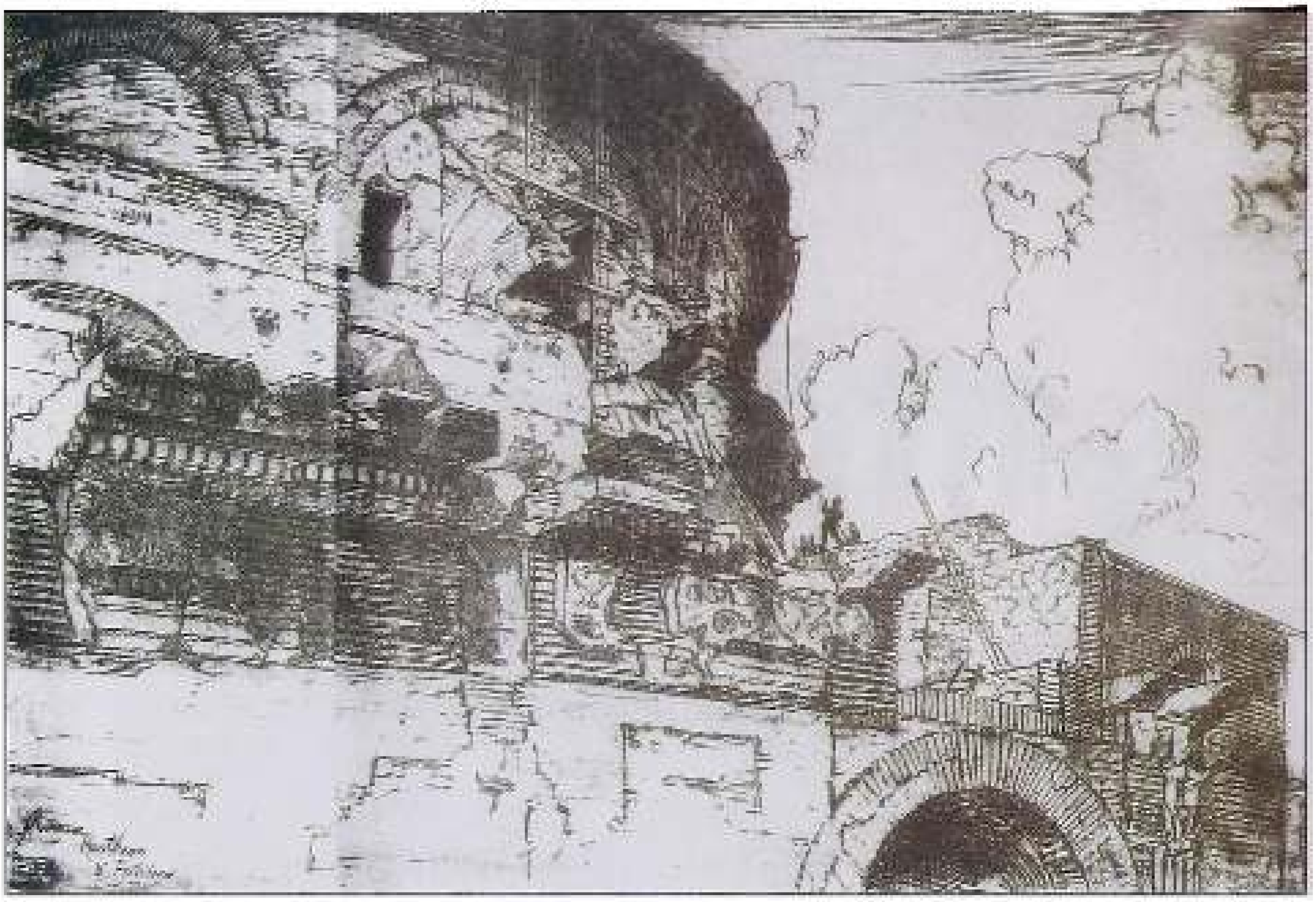
А. А. Иванов. Аппиева дорога при закате солнца (1845)



А. А. Иванов. Храм Весты (1908)



Ф. В. Сычков. Рим. Пантеон (1908)



В. Ф. Фалилеев. Рим. Пантеон (1817)



С. Щедрин. Новый Рим. Замок Святого ангела (1823)



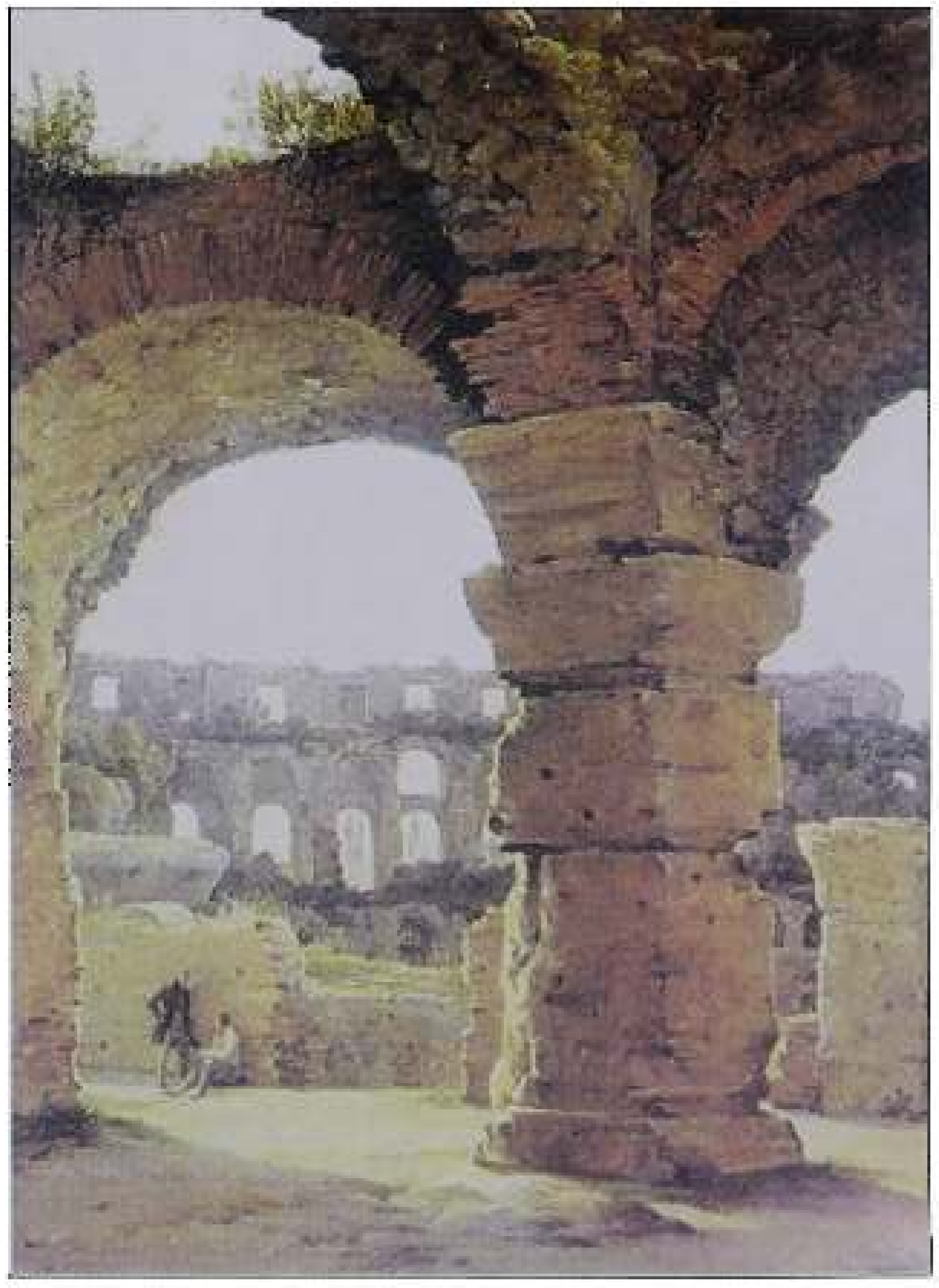
В. И. Суриков. Собор св. Петра в Риме (1884)



А. П. Остроумова-Лебедева. Рим. Вид на собор св. Петра с двора (1903)



С. Щедрин. Водопад в Тиволи (между 1821 и 1823)



Никанор Чернцов. Колизей (1840)

Иллюстрации к статье С. Н. Коломийца «Упражнение „Витраж" в структуре курса „Основы композиции"»

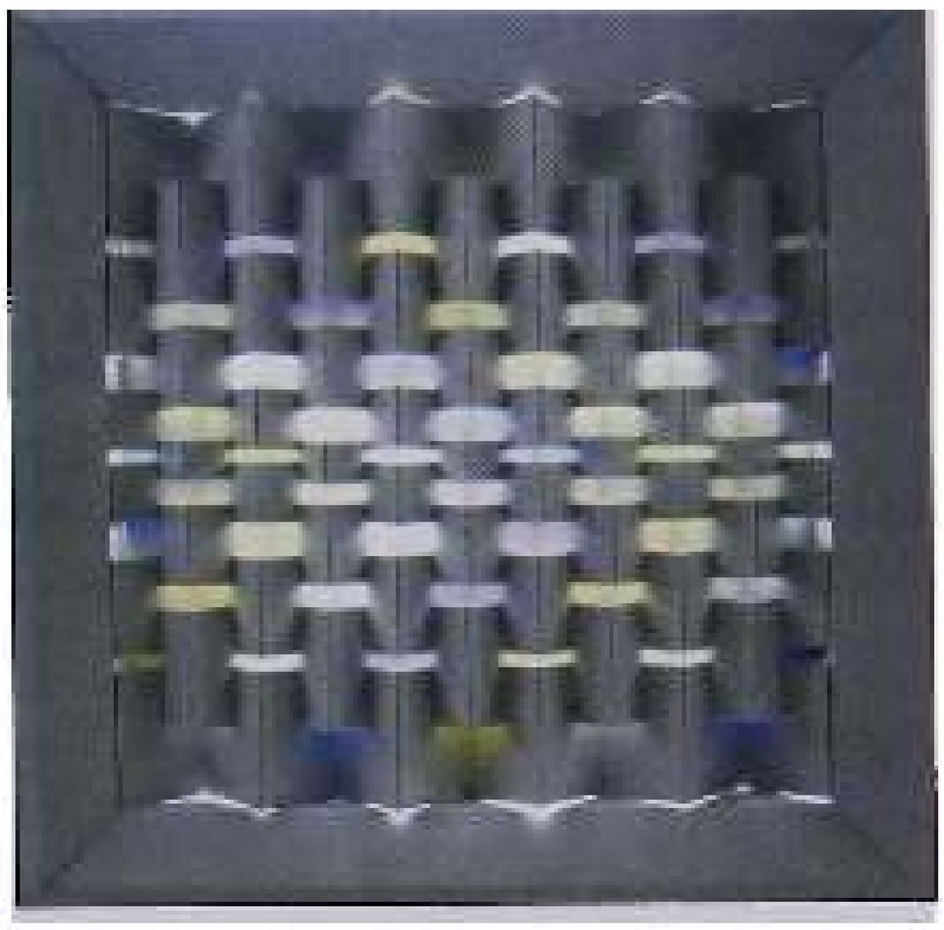


Интерьеры ЛЛГСа Пролетарского района (автор — доцент кафедры архитектурного проектирования Р. Р. Кудрявец)













Композиционные упражнения на тему «Витраж»

принципами декоративного формообразования, закрепилось в формально-композиционных связях; отсюда сложность истолкования и расшифровки символики, поскольку не всегда ясна мотивация народных мастеров, создававших орнаментику.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бауэр В.** Энциклопедия символов / В. Бауэр, И. Дюмотц, С. Головин ; пер. с нем. Г. Гаева. — М. : КРОН-ПРЕСС,1998. — 512 с.
2. **Белицер В. Н.** Жилые и хозяйственные постройки мордвы-мокши на территории Мордовской АССР в конце XIX — первой половине XX в. / В. Н. Белицер // Исследования по материальной культуре мордовского народа. — М.,1963. — С. 161—191.
3. **Ермилов Л.** Резные узоры / Л. Ермилов // Сел. стр-во. — 1993. — № 3. — С. 33—34.
4. **Ермилов Л.** Тайны древних отцов / Л. Ермилов // Сел. стр-во. — 1993. — № 3. — С. 32.
5. **Лузгин А. С.** Жизнь промыслов : промысловая деятельность крестьян Мордовии во второй половине XIX — начале XX в. (этнокультурные аспекты) / А. С. Лузгин. — Саранск : Мор-дов. кн. изд-во, 2001. — 216 с.
6. **Мокшин Н. Ф.** Религиозные верования мордвы. — 2-е изд., доп. и перераб. / Н. Ф. Мокшин. — Саранск : Мордов. кн. изд-во, 1998. — 248 с.
7. Мордва : очерки по истории, этнографии и культуре мордовского народа / редкол. : Н. П. Макаркин (гл. ред.), А. С. Лузгин, Н. Ф. Мокшин (зам. гл. ред.) [и др.]. ; сост. С. С. Маркова. — Саранск : Морлов. кн. изд-во, 2004. — С. 299.
8. Мордовия : народное искусство : [альбом] / фот. Н. Е. Ревизов ; сост. Ю. Ф. Юшкин ; авт. вступ. ст. И. М. Петербургский. — Саранск : Мордов. кн. изд-во, 1985. — 143 с.
9. **Рогачев В. И.** Семантика знаков декоративно-прикладного искусства (на примере орнамента эрзи и мокши) : учеб. пособие по спецкурсу / В. И. Рогачев / Мордов. гос. пед. ин-т. — Саранск, 2005. — 147 с.
10. **Рогачев В. И.** Семейные знаки народов Поволжья (на примере знаков собственности эрзи и мокши) / В. И. Рогачев. — Саранск : Мордов. кн. изд-во, 2003. — 159 с.
11. **Рыбаков Б. А.** Язычество Древней Руси / Б. А. Рыбаков / АН СССР, Отд-ние истории, Ин-т археологии. — М. : Наука, 1988. — 782 с.
12. **Heikel A. O.** Ceremissen, Mordwinen, Esten und Finnen. — Helsingfors, 1888. — 352 с.

Поступила 16.09.08.

ЖИВОПИСНАЯ РЕПРЕЗЕНТАЦИЯ ГОРОДОВ ИТАЛИИ В ОТЕЧЕСТВЕННОМ ИСКУССТВЕ XVIII — начала XX века

Н. Ю. Лысова

В статье предпринята попытка искусствоведческой реконструкции «итальянского текста» в отечественном изобразительном искусстве XVIII—XIX вв. Выделяются и анализируются произведения живописи и графики, художественно фиксирующие архитектурные и исторические достопримечательности замечательных городов Италии: Рима, Флоренции, Венеции и Неаполя. В рамках искусствоведческого ракурса осмысливаются особенности, присущие поэтике исторического города в целом.

В конце XVIII в. в своем «Путешествии по Италии» великий немецкий поэт Гёте увидел красоту природы страны в нераздельном единстве с ее историческими памятниками. Это отмечали все посещающие Италию, об этом писали и русские художники-пенсионеры. «Наконец-то я еду!.. Увижу Италию, страну любимую природы и дарований, увижу Рим... От далеких стран севера летят младые питомцы муз, чтобы в нем усовершенствовать и сделать изящным вкус свой; покидают родных и друзей, чтобы взглянуть на почтенные остатки великой древности», — так начал свой итальянский дневник Самуил Иванович Гальберг, известный русский скульптор [цит. по: 6, с. 7].

Если природный итальянский ландшафт в основном привлекал внимание отечественных художников первой половины XIX в., то архитектурные и исторические достопримечательности великой страны находились в поле зрения живописцев и графиков на протяжении всего XIX и начала XX столетия. Более того, всемирно известные памятники культуры вызывают профессиональный интерес художников, попадающих в Италию, по сей день.

Четыре древних города притягивают художественные взгляды на протяжении двух столетий. Это Рим, Флоренция, Венеция и Неаполь. Подобный выбор неслучаен и вполне оправдан. Именно эти города характеризуют культурную наполненность легендарной страны. Во-первых, на территории известных поселений сохранились античные древности; во-вторых, здесь сконцентрированы лучшие итальянские музеи; в-третьих, данные города абсолютно разные и по географической характеристике, и по культурному типу, и по наполнению памятниками; в-четвертых, именно эти города соединили древность и обновление, сохранив и оставив жить памятники культуры в меняющемся мире современности.

Главным итальянским центром всегда воспринимался Рим. Многие отечественные писатели и художники были убеждены в том, что Вечный город — это нескончаемая книга-эпопея. «Я читаю ее, читаю... и до сих пор не могу добраться до конца; чтение мое бесконечно», — писал Н. В. Гоголь [цит. по: 1, с. 14]. Все сходились и в том, что ореол вечности Риму конкретно придает бессмертное античное наследие. Данное представление наиболее полно визуализируется произведениями отечественных художников.

В конце XVIII — начале XIX в. в Риме образовалась своеобразная русская колония творческой интеллигенции. В нее наряду с писателями и музыкантами входили живописцы и скульпторы — пенсионеры Академии художеств, приехавшие изучать культурное наследие и повышать профессиональное мастерство. В их произведениях зримо зафиксировано восприятие Вечного города, характерное для большинства наших соотечественников. Отечественную историю творческого увлечения Римом можно разделить на несколько этапов: конец XVIII — начало XIX в. — классицистический; вторая четверть и середина XIX в. — романтический; вторая половина XIX в. — реалистический; конец XIX — начало XX в. — авангардный. Каждый из периодов отмечен созданием неповторимого образа Вечного города.

Первый этап заложил основы в процессе художественного осмысления Рима. Пейзажисты Ф. Матвеев, Семен Щедрин, Сильвестр Щедрин и др. наметили несколько основных ракурсов, помогающих раскрыть его образ в живописных полотнах и ставших характерными для худож-

ников последующего времени. Пространство города было осознанно поделено на три культурных хронотопа: старый Рим, хранящий «чистый образ Античности», новый Рим с его главной достопримечательностью — собором Св. Петра и римскую Кампанью, сплав девственной природы и архитектурных «осколков» разных времен. В каждой из трех больших тем были найдены свои ключевые сюжеты.

Старый Рим ассоциировался с архитектурными памятниками Форума Versus и Палатина. Главным сооружением, визуализирующим «чувство приближения к классическому», осознавался Колизей. Одним из первых отечественных пейзажистов, изобразивших древний амфитеатр, был Федор Матвеев (полотно «Вид Рима. Колизей» (1816)). Чуть позже римскую достопримечательность дважды запечатлел Сильвестр Щедрин (картины «Колизей» (1819) и «Вид Колизея» (1822)). Оба живописца оставили, в соответствии с установками классицизма, точные виды архитектурного сооружения. Перед художниками стояла задача достоверной фиксации обремененного памятью веков объекта, их пейзажи стали в России своеобразным «наглядным пособием» в помощь изучающим мировую историю.

В 1840—1842 гг. римские руины трижды писал Никанор Чернецов. В двух вариантах художник изобразил лишь небольшой фрагмент Колизея (1840). Третий вид амфитеатра — «Колизей в лунную ночь» (1842) — представляет собой новое прочтение античного памятника. Чернецов далек от живописного копирования объекта — «вида», он создает образ величественного сооружения, погружаясь в атмосферу далекого времени. Эмоциональное решение пейзажного сюжета — черта романтического художественного мировосприятия.

В начале 1880-х гг. по Италии путешествовал В. И. Суриков. Он написал серию акварелей, запечатлевших архитектурные памятники. Одна из лучших композиций посвящена Колизею. Античная постройка, занявшая всю поверхность листа, освещена мягким солнечным светом, ненавязчиво подчеркивающим красоту бело-розового камня.

Второй архитектурно-пейзажный сюжет, олицетворяющий Новый Рим, связан с изображением собора Св. Петра. Главный католический храм мира, строившийся около трехсот лет, изображался совершенно иначе, чем Колизей. Античный амфитеатр был главным персонажем любой композиции, посвященной ему. Собор же почти всегда запечатлевался как доминирующая часть римской панорамы. Его купол, господствующий над городом, собирал архитектурный контекст воедино, являясь узнаваемым образно-содержательным кодом Вечного города, его «визитной карточкой».

Впервые таким увидел собор Сильвестр Щедрин. В его городском пейзаже «Новый Рим. Замок Святого Ангела» (1823) монументальная масса собора вырастает на заднем плане. Однако на фоне голубого облачного неба силуэт храма целен и четок. К нему стремится река, кварталы жилой и общественной застройки. Собор не просто архитектурный памятник, подобный руинированному Колизею, он включен в активную современную жизнь Рима.

Подобный взгляд на величественный католический храм был сохранен и в последующие периоды. В акварели «Собор Св. Петра в Риме» (1884) Суриков, не прельщаясь эффектной берниниевской колоннадой, избирает точку зрения экстерьера со стороны бокового крыла и показал знаменитое сооружение подчеркнуто просто, как часть большого современного города среди других римских зданий, обступивших с трех сторон архитектурного великана. Если собор и изображался в роли единственного персонажа композиции, то подчеркивать монументность его главного фасада художники все же не спешили. Например, А. П. Остроумову-Лебедеву заинтересовал дворовый фасад постройки, изрезанный разной конфигурации окнами, уютный маленький дворик с небольшой чашей фонтана. Знакомый купол высится на втором плане, как отличительная деталь сооружения — «Рим. Вид на собор Св. Петра со двора» (1903).

Образ пригородов Рима непосредственно связан в отечественном художественном восприятии с образом самого Вечного города. Кампанья «первая открывает глаза путешественнику...», — писал П. П. Муратов [4, с. 423], добавляя, что «истинный дух Рима не умрет до тех пор, пока вокруг него будет простираться эта легендарная страна» [4, с. 424]. Одним из первых панораму «Вид Римской Кампаньи» запечатлел Ф. Матвеев. Написанный в традициях академического классицизма, пейзаж изображает далевые просторы по-

груженного в прошлое пространства. Среди живописцев, запечатлевших пригороды древнего города, были С. Щедрин, М. Воробьев, Ф. Бронников и др.

«Большинство гостей Рима видит Кампанью на Аппиевой дороге», — отметил П. П. Муратов [4, с. 425]. Лучшее изображение известного римского пути оставил Александр Иванов. В пейзажной картине «Аппиева дорога» (1845) великий художник совместил в найденном образе портретную точность и философическую обобщенность, достойную запечатленного культурного артефакта. Обаяние и значимость ивановского пейзажа заключается прежде всего в выбранном художником ракурсе: его взгляд устремлен на Кампанью не из Рима, а в обратном направлении. Оглядев «дикую раму Рима», он направляется к Вечному городу. На горизонте вырисовывается далекий купол собора Св. Петра.

Над образом Рима работали многие отечественные художники. Кроме вышеназванных, стоит упомянуть М. Воробьева, В. Раева, М. Лебедева, П. Кончаловского, Д. Фалилеева, Ф. Сычкова и др. Все они пытались не просто запечатлеть известные всему миру памятники культуры, но передать свою любовь к Вечному городу. Культурная столица Европы воспринималась отечественным сознанием как далекое близкое, но всегда родное пространство.

Вторым по значимости итальянским центром для русских паломников и художников была Венеция. Этот замечательный город первым встречал прибывающих в Италию морем туристов и сразу же давал ощутить рукотворное богатство древней земли. Важно отметить, что все отечественные деятели искусства размышляли о Венеции задолго до реальной встречи с ней. Так, русский искусствовед, знаток Венеции Петр Петрович Перцов относил этот город к «врожденным идеям», о которых никогда не перестает размышлять человечество. Он писал: «Каждый из нас, не бывал в Венеции, знает Венецию. Это — улицы-каналы, лодки-экипажи, старые дворцы, обветшавшая роскошь, черные плащи гондольеров, черные кружева красавиц...» [цит. по: 3, с. 10].

Первым русским живописцем, попавшим в Венецию в качестве пенсионера Академии художеств в последней четверти XVIII в., был Федор Яковлевич Алексеев. Венеция и искусство знаменитых видописцев, прославляющих ее (А. Каналетто, Б. Белотто, Ф. Гварди), определили творческий путь Алексеева — он стал самым известным художником, работавшим в жанре городского пейзажа в конце XVIII — начале XIX в. в отечественном искусстве.

Известно несколько работ Алексеева с видами Венеции. Первая — «Лестница Академии художеств в Венеции» (1776) — скопирована с композиции Каналетто и интересна лишь с точки зрения становления мастерства молодого художника. Вторая работа выполнена самостоятельно и запечатлевает один из характерных видов «города на воде»: «Венеция. Вид набережной Скьявоне» (1775). Картина изображает канал Св. Марка в Венеции. Вдали слева — набережная с Дворцом дожей, за которым видны верхняя часть Кампаниллы и купола собора Св. Марка. На первом плане представлена часть набережной и суда, высокие мачты которых подчеркивают переднюю плоскость картины. Очевидно, что этот вид написан по зарисовке с натуры. Однако в картине Алексеева собственные впечатления об удивительном городе, впитавшем в себя краски солнца и моря, слились с образом, созданным итальянскими живописцами. Венеция в картине русского мастера предстает городом дворцов и храмов, спокойных вод лагуны и стоящих на отдыхе кораблей, гуляющих по набережной венецианцев. Алексеев не отразил во всей полноте неповторимую красоту Венеции, а только наметил некоторые выразительные стороны ее образа: соединение воды и архитектуры, морских судов и гондол — местного вида транспорта, венецианцев в черном и выцветшие разводы на стенах архитектурных строений.

В 1846 г. Венецию посетили братья Чернецовы. Город на море покорил их своим своеобразием, и они посвятили ему несколько композиций, в которых запечатлели самое сердце «жемчужины Адриатики». Никанор написал «Площадь Святого Марка в Венеции», а Григорий — «Внутренний вид храма Святого Марка в Венеции» (обе — 1846). Поэт середины XIX в. Владимир Дмитриевич Яковлев назвал главную площадь города «венецианским форумом» [цит. по: 3, с. 297]. Петр Андреевич Вяземский писал о ней в то же время, что «площадь, обставленная великолепными зданиями, с базиликою Св. Марка в оконечном ут-

лублении своем, конечно, картина величавая и поразительная» [цит. по: 3, с. 295]. Очевидно, что и русские пейзажисты Чернецовы были заинтригованы центральным архитектурным ансамблем города.

В «Площади Святого Марка в Венеции» Никанор Чернецов, желая показать красоту величественных сооружений, выбрал необычную точку зрения. Он изобразил архитектурный вид «через арку» собора. Используя этот прием, художник подчеркнул глубину пространства, перемежая темные и светлые полосы: затемненная арка на переднем плане и здания, освещенные солнцем, — на втором. Чернецов отдал предпочтение этой точке зрения по двум причинам. Во-первых, она наиболее цельно и выразительно представляла главный городской ансамбль. Во-вторых, позволяла художнику запечатлеть красивейшую венецианскую перспективу с Дворцом дожей, колонной с крылатым львом — символом Венеции, спокойными водами канала Святого Марка.

В то же время Григорий Чернецов написал «Внутренний вид храма Святого Марка в Венеции». Многие русские путешественники оставили записки с восхищенными откликами об этом архитектурном памятнике. Так, М. П. Погодин писал в 1839 г.: «Св. Марко, Св. Марко — как русскому не восхититься им? Это почти Успенский собор, собор Св. Софии, в том же роде, в том же духе... Величественно... Везде золото, серебро, бронза, а мрамору, мрамору! Множество памятников, которые так и охватят древностию, древностию греческою, византийскою» [цит. по: 3, с. 288]. Приблизительно те же чувства испытывал и Григорий Чернецов, выразивший их в живописной композиции. Интерьер храма ослепляет причудливостью архитектурно-декоративного решения, переплетающего разные стили — византийский, арабийский, европейский. Высокие арки переходят в большой сферический световой купол, из круглого окна — розы — льется мягкий свет, заставляя сиять великолепные мозаики и фресковые росписи собора. «Жизнь Венеции, сколько ее есть, приютилась к собору Св. Марка и окрестностям его. Тут сердце, кажется, бьется, между тем как около — все или оцепенело уже, или цепенеет...» [цит. по: 3, с. 291].

В 1885 г. Венецию посетили два замечательных русских живописца — Василий Иванович Суриков и Виктор Михайлович Васнецов. Город на берегу Адриатики произвел на обоих неизгладимое впечатление. Васнецов писал: «Впечатление от города ни с чем не сравнимое, оригинальное и до слез поэтичное... Это волшебное заснувшее царство» [цит. по: 3, с. 115]. Суриков дважды бывал в Италии, в том числе в Венеции — в 1884 и 1900 гг. Художественный результат поездок — серия замечательных акварелей, сделанных в культурных центрах Европы. Несколько листов посвящено Венеции. Город поразил художника явно ощущающимся колоритом тоски, печали. Воспоминания Сурикова о Венеции во многом являются вариацией на классическую тему «умирающего города»: «Не знаю, какую-то грусть навевают эти черные, крытые черным кашемиром гондолы. Уж не траур ли это по исчезнувшей свободе и величию Венеции? Хотя на картинах древних художников во время счастья Венеции они тоже черные...» [цит. по: 13, с. 114]. Акварель «Венеция» (1900) решена именно в этом ключе. Серебристо-серое море отражается в окнах венецианских домов. Суриков живописно нивелирует ощущение образа величественных палаццо, представляя их как дома простых венецианцев. На балконах сушится белье, стоят люди. Обветшавшие стены покрыты разводами тлена. Однако неповторимый дух места Суриков уловил вполне: «Волшебна эта водяная улица... Мрачны, печальны почерневшие фасады... зданий, выдвинутых из воды... балконы, под которыми без шуму плывет ваша гондола, — все это создает эффекты магические» [цит. по: 3, с. 325].

Двумя годами позже, в 1887 г., в Венеции побывал Валентин Серов. Маленький этюд, написанный маслом, хранящийся в Третьяковской галерее, изображает все тот же узнаваемый вид центральной площади города «с базиликою Св. Марка в окончечном углублении своем». В отличие от многих отечественных путешественников, посещавших Венецию и оставивших о площади и соборе восторженные воспоминания. Серов увидел венецианский форум не в качестве цветистого персонажа «пышной восточной поэмы», а в серебристо-золотых красках грустного сказочного миража. По-видимому, этюд писался в ранние утренние часы: площадь пустынна и молчалива. Она словно отдыхает от тысяч назойливых туристов. Подобное впечатление рождает выб-

ранный художником ракурс: здания собора, части колокольни и Дворца дожей отодвинуты в глубину холста, на второй план, первый же отдан мраморным плитам «приемной залы венецианской республики». П. Перцов писал десятью годами позже, мысленно совпадая с живописным размышлением Серова: «Три мраморных дворца вместо трех стен; вместо четвертой — та смесь мрамора, гранита, яшмы, порфира, бронзы, мозаики, скульптуры, резьбы, которая называется собором Св. Марка. Если нет потолка, то только потому, что одно небо достойно служить потолком этой залы...» [цит. по: 3, с. 299].

Одним из самых интересных венецианских мотивов в искусстве, безусловно, является «город на воде». Его главные персонажи — мосты и каналы Венеции. Посредством изображения водных проспектов необычного города Венецию воспринимали и представляли зрителям многие художники. Среди них особенно выделяются два живописца середины XIX в.: А. Н. Мордвинов и А. П. Боголюбов.

Александр Николаевич Мордвинов был художником-любителем. Сын знаменитого адмирала Н. С. Мордвинова, служивший при дворе в должности камергера, граф Мордвинов подолгу жил в Венеции. Его спокойные и безмятежные пейзажи Венеции можно объединить в большую серию городских видут. Любимые сюжеты, воплощенные в живописные композиции, — это «Вид большого канала в Венеции», «Набережная дельи Скиавоне в Венеции» (1835), «Утро в Венеции», запечатлевшее начало Большого канала, и др. Картины художника почти всегда сохраняют двухплановую трактовку изображения. Первый план — это обычная жизнь города, с заботами простого человека, это поблекшие от времени и влажности дворцовые фасады и быт гондольеров. Второй план передает грандиозность соборов, величие города. «Низкий» жанр совмещается с «высоким». В подобный нерасделенности очевидных и смысловых планов особенно ощутим колорит Венеции. Художник приближается к правдивому, почти натурному изображению. В то же время романтическая окрашенность способствует особому эмоциональному восприятию исторического города.

Венецианские пейзажи Алексея Петровича Боголюбова также сохраняют налет романтизма. Однако очевидно, что художник писал их с натуры — «Венеция ночью», «Венеция». «Вид Венеции» (1850), «Лунная ночь. Венеция» и др. — и глубоко изучал архитектурные памятники и природные особенности «города на воде». Любимые Боголюбовым виды сосредоточены на Большом канале — это дворцы венецианской знати и великолепная барочная церковь Санта-Мария делле Салуте, западная часть венецианской гавани с площадью Святого Марка и одноименным собором. Почти на всех городских пейзажах заметны стоящие в гавани корабли. Они неотделимы от городской архитектуры и воспринимаются ее незаменимым компонентом.

Если в начале XIX в. и в середине столетия художников в основном привлекал центр города и его целостная панорама, то в конце века для них стали интересны городские детали — отдельные мосты, скульптурный декор, дворики, дворцовые постройки, занимающие весь формат произведения. Среди художников, для которых Венеция прозвучала особым откровением, были М. А. Врубель, А. П. Остроумова-Лебедева, Д. В. Фалилеев, П. П. Кончаловский. Все это художники Серебряного века отечественной культуры.

Михаил Александрович Врубель посетил Венецию осенью 1884 г. Его поездку можно назвать служебной. Он снимал копии с фрагментов мозаик в венецианском соборе Сан-Марко и с мозаик IX—XII вв. в соборе на острове Торчелло в венецианской лагуне. В Венеции Врубель много путешествовал на маленьких барках для простого люда по каналам и окрестным островам, ежедневно ходил по церквам и музеям, где подробно изучал живопись венецианских мастеров. Особенно поразили его произведения Тинторетто, Чима да Капельяно, Беллини, Карпаччо.

Впоследствии венецианские впечатления сыграли большую роль в творчестве Врубеля. Он выполнил несколько панно на венецианские темы для домов богатых русских меценатов. Искусствоведы и биографы Врубеля единодушно полагают, что и его позднейшие романтические, энергично-порывистые работы, несомненно, навеяны Венецией, в частности такими работами Тинторетто, как «Чудо св. Марка», «Введение Марии во храм», «Распятие», «Несение креста» и др.

Однако не только картины великих венецианцев восхитили Врубеля. Художник оставил серию проникновенных акварелей,

запечатлевших виды самого города. Одна из лучших композиций цикла — «Венеция. Мост Вздохов» (1890-е гг.). Художник изобразил известную постройку в яркий солнечный день. Насыщенно-голубое небо, бирюзовая вода, черные гондолы подчеркивают белизну барочного сооружения. Его изящная легкость никак не вяжется с предназначением: известно, что мост Вздохов соединял Дворец дожей с тюрьмой Карчерри, и свое название получил оттого, что сквозь его решетчатые окна осужденные, прощаясь со свободой, бросали последний взгляд на небо, море, солнце, прежде чем ступить под своды темницы. В 1893 г. Врубель написал большое декоративное панно «Венеция», на котором изобразил на первом плане прекрасных венецианок и венецианцев в роскошных костюмах эпохи Возрождения на фоне моста Вздохов. Эта композиция родилась под действием неизгладимых впечатлений от красивейшего исторического города, который сам Врубель назвал «родной, как есть, Византией» [цит. по: 3, с. 101].

Для художников Серебряного века Италия была «второй родиной». Так называла страну, где была трижды, Анна Петровна Остроумова-Лебедева, оставившая много рисунков и гравюр с видами Венеции. Особенно плодотворной была поездка в Италию в 1911 г. Ни Рим, ни те небольшие городки, которые лежали на пути художницы во время путешествия по Италии, — Альбано, Сиена, Перуджа, Сан-Джаминиано, Субиако — не захватили так ее воображения, как Венеция. Впервые Остроумова увидела Венецию в 1903 г., но осталась равнодушна к ней. В 1911 г. она смотрела на город глазами зрелого художника, познавшего и запечатлевшего красоту петербургского пейзажа. Венеция в ее восприятии стала созвучна городу на Неве. Остроумова посвятила ей лучшие акварели итальянского цикла: «Венеция», «Столбы», «Голубые столбы», «Большой канал. Серый день», «Большой канал. Стоянка гондол». Венеция в этих работах предстает в жемчужной гамме, словно затянутая влажной пеленой тумана. Основные массы зданий, вода, силуэты гондол, столбы гондольерных стоянок нанесены энергичным контуром, смело намечающим форму. Сочетание черной, сочной линии итальянского карандаша с серебристо-серым тоном акварели придает листам особую благородную красоту. При всей логичности и продуманности композиций в них нет ни рассудочности, ни сухости. Они написаны как бы одним дыханием, темпераментно и остро, неся в себе живую трепетность непосредственного наблюдения.

Образ Венеции у Остроумовой-Лебедевой рождается в связи со стихией воды. Во влажной дымке словно тают четкие объемы, яркие краски, приданая всему особую подвижность. Здесь все в динамике, все дышит, все живет — дома с их колеблющимися отражениями в воде, скользящие гондолы с темными силуэтами гондольеров, вода, зажатая камешными стенами домов. Венеция в акварелях Остроумовой окутана влажным дыханием моря, серебристой дымкой, наполнена ощущениями особых звуков, рождающихся в городе, живущим на воде.

Среди отечественных художников, оставивших живописные воспоминания о Венеции в первой четверти XX столетия, необходимо выделить Петра Петровича Кончаловского, лидера кубофутуристов, одного из организаторов «Бубнового валета». Он приехал в Венецию в 1924 г. на XIV Международную художественную выставку, где принимал участие. В этот свой приезд в столицу Адриатики Кончаловский увлекся творчеством Тинторетто и сделал много зарисовок с его картин. Однако художнику показалось мало только зрительно изучать произведения любимого мастера: хотелось анализировать, переживать его жизненные ситуации в своем творческом процессе. Этому чувству обязано возникновение картины — «Дом Тинторетто» (1924). С одной стороны, это обычный городской вид, с другой — в нем особенно ощутим эмоциональный отклик на увиденное. Художник воспринимает дворец, в котором когда-то жил великий живописец Возрождения, как одухотворенный персонаж. Трехэтажная постройка становится главным действующим лицом композиции, ассоциирующимся с особым «духом места», атмосферой, помнящей старого мастера. Кружевной фасад с большими балконами отражается в спокойных темных водах канала. Массивные стены старинного палаццо написаны в пастозной динамичной манере. Тогда же Кончаловский написал картину «Венеция. Палаццо дожей» (1924). И снова архитектурный памятник в центре внимания живописца. Кончаловский пишет всего один угол строения, однако необычный ракурс дает

представление обо всей постройке в целом. Мощные аркады первого этажа гармонируют с колоннами и стрельчатыми арками огромного балкона. Палаццо залито солнцем и от этого прочитывается в живописной плоскости еще рельефнее и значительнее.

Кончаловский вспоминал впоследствии о Венеции: «С грустью уезжал я из Венеции. Сколько живописцев писали ее, хотя бы в древние только времена: Карпаччио, Джентиле Беллини, Бассано, Лонги, Каналетто, Гварди, Белотто, и у всех у них была своя Венеция, и все они писали ее верно» [цит. по: 5, с. 95]. Отечественные мастера также внесли свой неповторимый вклад в воссоздание живописного образа города-памятника. Представление о нем давало прежде всего изображение центральной площади — пьяццо Сан Марко и величественного собора Святого Марка, организующего ее пространство. Всех русских художников привлекали и воды Венеции, ее улицы-каналы с плывущими по ним черными загадочными гондолами, набережные, обрамленные старинными палаццо. Венеция стала для русской творческой интеллигенции своеобразным «чудо-городом», о котором, раз побывав, вспоминаешь всю жизнь.

Третий город, притягивающий внимание отечественных паломников, — колыбель Возрождения Флоренция. Отечественные писатели, поэты и ученые подобрали ей множество превосходных определений: «божественная Флоренция», «божественный горн» (Б. Зайцев), «красавица Флоренция» (С. Флеров), «преинтересный город» (И. Анненский), «нестареющий, материнский кров», «редкая, художественно выделанная драгоценность» (И. Гревс) и т. д. А. А. Кара-Мурза, характеризуя его, заметил, что, «если Рим — Вечный город, Венеция — город предельно искусственный, то Флоренция — город природно-естественный» [2, с. 11]. Возможно, именно это имел в виду Д. Мережковский, когда писал: «Я ни о чем думать не могу, как о Флоренции... она серая, темная и очень простая и необходимая. Венеция могла бы и не быть. А что с нами было бы, если бы не было Флоренции!» [цит. по 2, с. 11]. В этом высказывании сконцентрировано осознание ценности итальянского города для всей европейской культуры.

Флоренция — редкий город среди архитектурных ансамблей подобного масштаба и значимости, который можно весь охватить взглядом с одной точки. Пейзаж Флоренции, увиденный с Сан-Миниато или с высот Фьезоле, создает уникальную картину — город предстает не рукотворным, а скорее природным явлением. Поразительно часто, описывая этот город, побывавшие в нем передают ощущение его первозданного ландшафта. Писатель и искусствовед Павел Муратов говорил, что в облике Флоренции чувствуется «стройность великолепного дерева», а камни Флоренции — так кажется, легче, чем камни, из которых сложены другие города. Вот лишь два из характерных описаний Флоренции: «Голубоватые вуали воздуха, голубовато-фиолетовые горы, Арно серебряное, светлый туман да с гор благоухание фиалок. Вольный ветер, музыка и благовония»,— писал Борис Зайцев; «Холмы дышат, знаменитые цветущие холмы. Прохлада, тончайшие краски земли и неба и веянье крыльев духа Тосканы. Божественный город!»,— сказал Михаил Осоргин [цит. по: 2, с. 15]. В описании — ничего рукотворного, только естественно-природное, но любой, кто знаком с Флоренцией, не сможет не согласиться, что речь идет именно об этом городе.

Несмотря на то что отечественные писатели и поэты оставили множество откликов о Флоренции, в русском изобразительном искусстве флорентийская тема развита незначительно. Пенсионеры Академии художеств начала и первой половины XIX в. флорентийские виды практически не писали, их больше привлекали Рим и Неаполь. Всего несколько художников второй половины XIX — начала XX столетия оставили живописные и графические впечатления о центре европейского Ренессанса. Среди них выделяются композиции Н. Н. Ге, В. И. Сурикова, К. А. Коровина и листы В. Д. Фалилеева и А. П. Остроумовой-Лебедевой.

Николай Николаевич Ге запечатлел Флоренцию в 1864 г. Это лучшее изображение итальянского города в отечественной живописи. В основе пейзажа-картины лежит лирико-романтическое начало. Очевидно, что картина написана по точному этюду, сделанному с натуры. Художник избрал точку зрения, с которой можно свободно охватить весь город сразу одним взглядом. Внизу расстилается широкая долина, высятся городские строения, искусственно собранные в веках вокруг ог-

ромного купола главного городского собора Санта Мария дель Фьоре. Вечерние сумерки окутывают мягким рассеянным светом голубую ленту реки, которая оттеняет теплые тона насыщенного золотыми отсветами заката. Темные силуэты кипарисов и фигуры людей у парапета создают ощущение широкой дали, глубины пространства. Настроение умиротворенности и тишины наступающего вечера раскрывается не только в самом образе природы, оно как бы персонифицировано в лирическом герое картины — в молодой женщине, погруженной в безмолвное созерцание величия и красоты древнего города.

Суриков оставил небольшую акварель, изображающую Флоренцию приблизительно с той же точки зрения, с которой ее увидел Ге. Она написана двадцатью годами позже — в 1884 г. В композиции «Флоренция. Прогулка» на фоне облачного неба и синеющих вдали гор — исторический архитектурный ансамбль: купол собора Брунеллески, джоттовская кампанила и черепичные крыши домов, окутанные голубоватой воздушной дымкой. В обеих композициях возникает совершенно неповторимый образ Флоренции: город удобно приютился в чаше природного рельефа, словно созданной специально для него. В архитектурной панораме сразу же выделяется главная доминанта Флоренции — собор Санта Мария дель Фьоре. Громадный купол, возведенный в XV в. Брунеллески, высится над небольшими домами с черепичными крышами. Рядом еще одна архитектурная веха — соборная колокольня. По сей день флорентийский пейзаж узнаваем во всем мире именно с этой точки зрения и именно по этим приметам. Л. Карсавин писал о неповторимом виде Флоренции с холмов Фьезоле: «...вид с окрестных гор дает даже больше чем панораму — он позволяет охватить глазом те здания, целое которых вблизи исчезает...» [цит. по: 2, с. 258].

В конце XIX в., в 1888 г., Флоренцию посетил Константин Алексеевич Коровин. В отличие от предшественников он оставил живописное свидетельство, запечатлевшее городской интерьер, а не обширную природно-архитектурную панораму — «Улица во Флоренции в дождь» (1890-е гг.). Узкая улочка, образованная трех- четырехэтажными домами из серого камня, типична для исторического центра города и напоминает одну из самых старых улиц Флоренции — улицу Святого Франциска. Спокойствие серо-жемчужного колорита стен и мокрой мостовой ритмично оживляется рядами окон, закрытых зелеными ставнями. Полоска серого неба над крышами ограничивает вертикали фасадов, отражаясь на камне проезжей части. Обыденная повседневность города могла привлечь лишь особенно восприимчивую натуру. И. М. Гревс, посетивший город в 1902 г., оставил впечатление от подобных улиц, во многом схожее с ощущениями Коровина: «Первая прогулка по улицам Флоренции может вызвать разочарование в том, кто не отрешится от представления о привычных особенностях шаблонной красоты благоустроенных современных столиц... Садов и зелени видно с первого взгляда немного... Но всякий чуткий, наблюдательный человек без труда отделается от поверхностного впечатления, почувствует тут же на улицах даже притягивающую красоту...» [цит. по: 2, с. 267].

В Италии подолгу жил и работал график Серебряного века В. Д. Фалилеев. Его впечатления о стране были воплощены в десяти гравюрах на линолеуме, вошедших в серию «Италия», изданную в 1923 г. в виде отдельного альбома. Не во всех листах со знакомыми названиями древних европейских городов — Венеция, Флоренция, Рим, о. Капри — образ города решается через памятники архитектуры. Однако архитектурные формы играют главную роль в создании образа Флоренции. С исключительной чуткостью художник находит городской архитектурный фрагмент, в котором «взято сердце города» и прочувствована его индивидуальность: «Мокрая бронза, силуэт тритона, башня в отдалении, безлюдность площади, где живое спряталось под крышу ресторанчика; ...темный строгий палаццо, дающий контраст снежной белизне воды фонтана, — все на небольшом поле зрения» [цит. по: 4, с. 12]. История органично введена в современную художнику повседневность.

Четвертым, наиболее посещаемым русскими художниками городом, был Неаполь. Он привлекал паломников, прежде всего, южным климатом и красотой морского ландшафта. Кроме того, город вырос у подножия громадного, никогда не затухающего вулкана Везувий. Павел Муратов писал об этом замечательном южном городе: «В современном Неаполе нет никаких материальных следов Партено-

пеи и Неаполиса. Река жизни текла здесь так стремительно, что на ее природных берегах не осталось исторических отложений. Глубокое внутреннее согласие между церковным нефом или залой картинной галереи и улицей составляет существо итальянского города, итальянской жизни. Для путешественника, умеющего смешиваться с народной толпой, сама жизнь в Неаполе представляет нескончаемый интерес» [цит. по: 4, с.257].

Главным художником, вполне почувствовавшим сам дух Неаполя, был Сильвестр Щедрин. Он жил в городе с 1825 г. до самой смерти и испытал там блестящий творческий расцвет. Художник восхищался Неаполем: «Море, горы, живописно расположенные строения, беспрестанное движение народа... все сие мне показалось лучшим местом для пейзажиста» [6, с. 11]. В Неаполе Щедрина привлекали набережные. Архитектура морских обрамлений словно продолжает линию берега, а шумный говор неаполитанцев, кажется, созвучен плеску волн. Жизнь природы и человека воспринимается и передается художником как единое целое. Одним из наиболее известных видов этого города представляется «Набережная Мерджелина в Неаполе», где освещенные солнцем дома уступами спускаются к голубой бухте. Другая знаменитая неаполитанская набережная — Санта Лючия — изображена в картине «Вид Неаполя» (1829), где в отдалении виден стоящий на рейде русский фрегат. Архитектурные постройки Неаполя совершенно не впечатляют, а выразительный образ города складывается из живописного вида на море и спускающихся к нему мягких склонов гор. Все это запечатлено на пейзажах С. Щедрина. Художник уловил и то, что красоту исторического города дополняют его окрестности — Сорренто, Амальфи, Вико, остров Капри. Тихие уютные гавани, живописные обрывистые берега, скалистые гроты у моря воспринимаются затейливыми архитектурными строениями, которые возвели совместно человек и природа: «Вид Амальфи», «Вид Сорренто».

Таким образом, отечественных художников конца XVIII — начала XX в. привлекали в основном четыре культурных итальянских центра: Рим, Венеция, Флоренция и Неаполь. Живописцы и графики пытались достоверно запечатлеть признанные архитектурные достопримечательности, с которыми в художественном сознании связывался образ города. В Риме это были античные руины и барочные соборы, в Венеции — центральная площадь города с собором Св. Марка и набережные каналов, во Флоренции — общий вид города с высоты окружающих его холмов, в Неаполе — чудесный пейзаж с морем и Везувием, который виден со всех точек неаполитанских набережных. Однако живописная репрезентация позволяла не просто любоваться замечательными видами, но была своеобразной формой осмысления ценности исторического города для современной культуры. То, что конкретными примерами для отечественных художников служили именно города Италии, неудивительно. Ценность древнерусских исторических поселений осознавалась в XIX в. только в рамках отечественной культуры, тогда как итальянские города были общепризнанными вехами мирового развития. При этом, как заметил И. М. Гревс, Италия всегда стояла особняком среди других европейских стран, представляя культурными достижениями «лучшую школу гуманности», способную щедро поделиться накопленным культурным опытом с каждым, пытающимся осознать, что «все человеческое было ему не чуждо» [цит. по: 2, с. 140].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кара-Мурза А. А.** Знаменитые русские о Риме / А. А. Кара-Мурза. — М. : «Независимая газета», 2001. — 472 с.

2. **Кара-Мурза А. А.** Знаменитые русские о Флоренции / А. А. Кара-Мурза. — М. : «Независимая газета», 2001. — 472 с.

3. **Кара-Мурза А. А.** Знаменитые русские о Венеции / А. А. Кара-Мурза. — М. : «Независимая газета», 2001. — 472 с.

4. **Муратов П. П.** Образы Италии / П. П. Муратов. — М. : ГАЛАРТ, 1993. 526 с.

5. **Никольский В. А.** Петр Петрович Кончаловский / В. А. Никольский. — М. : Всекохудожник, 1936. — 132 с.

6. **Усачева С. П.** Сильвестр Щедрин / С. П. Усачева. — М. : Белый город, 2001. — 48 с.

Поступила 16.09.08.

ОБРАЗ ИНТЕРЬЕРА: ОБЪЕКТ — ТЕМА — СТИЛЬ

С. В. Кочнев

Красота дома... нуждается в зрителе одаренном,
который не судит по одному только виду,
но мудрым размышлением сопровождает
свое созерцание.

Лукиан

В статье рассматривается проблема создания художественного образа интерьера. Визуальный образ интерьера складывается под влиянием многих факторов: эстетических, религиозных, идеологических, природно-климатических, функциональных. Тема интерьера является материальной основой создания художественного образа. Стилистика интерьера должна базироваться на тематике интерьера. Только тогда дизайнерское решение станет гармоничным по форме и глубоким по содержанию.

Так складывается, что обычно мы обращаем больше внимания на вещи, обладающие индивидуальностью, точным и уверенным образом. В любом случае учитывается сочетание атрибутов, рисующих впечатление целого объекта. И маскарадное одеяние, и модная одежда, прическа, стильный макияж обладают свойствами образности в соответствии с тематическим использованием или принципом временного применения.

С древности человек наделял предметное пространство зрительными свойствами, которые со временем являли собой концентрат знаний и умений, дающих способность определять направление, путь создания образа внутренней архитектуры. И дворцы, и хижины несли в себе информацию о принципах существования общества, которые менялись не так существенно, как в современном мире. Но люди, общества никогда не стремились ограничить индивидуальность лишь горизонтальными и вертикальными плоскостями, функциональное назначение которых определялось как пол, потолок и стены. Стремление наполнить жилище и архитектуру в целом неким зрительным смыслом приводило, как правило, к созданию канонизированного образа рукотворного пространства. Изначально основой, определяющей облик архитектуры, служил ритуал. Со временем его заменила более развернутая религия, которую вытеснила обобществленная философия, оставив первой ражи функционально-теологического существования.

Современный взгляд на создание архитектуры приемлет в основном материально-технологическую и эстетическую подоплеку организации пространства. Ритуал, религия, философия играют здесь не настолько важную роль, хотя и не выраны из жизни современного общества и оказывают достаточно зримое воздействие при формировании окружающей среды.

Тем не менее, осознавая весь накопленный опыт создания предметно-объектного мира, мы подчас признаем недостаточность зримых свойств современной архитектуры. Отсюда вполне осознанное желание обогатить жилище и общественное пространство дополнительными свойствами: стилем, тематическим образом.

Безусловно, не всегда имеется необходимость привлечения темы для создания образа внутреннего пространства. Иногда достаточно стилевых приемов, основанных на знаний истории архитектуры, существующих направлений. Но тенденции современного проекти-

рования все чаще определяют задачу создать конкретный, индивидуальный образ.

Рассматривая соответствие предполагаемого образа общественно-культурным представлениям о принципах создания архитектурного окружения, мы тем не менее выделяем объекты, способные выглядеть индивидуально, выделяться нестандартностью на фоне общей застройки, отображать явное желание создателя определить тему сооружения.

Внутреннее пространство в данном случае имеет более широкие возможности определять образ в основном за счет замкнутости. Но это не означает отрицание основополагающего принципа сочетания «внутреннего» и «внешнего».

Применение методики создания образа интерьера (как, впрочем, и экстерьера) опирается на принцип применения цепочки «объект — тема — стиль». Объект, определенный функциональным назначением, может быть заявлен соответствующей темой, которая в свою очередь определяет стиль, его применение. Применение стиля без тематического определения может привести к поверхностному результату, усеченному объему применяемых свойств. Как правило, тема не только выявляет стилевой выбор, но и определяет набор вспомогательных атрибутов.

Пример: гостиная (объект), Япония (стиль). Предположительно проектирование интерьера по этому принципу приведет к созданию стабильного образа с использованием стандартных атрибутов интерьерно-экстерьерного назначения.

Поступила 16.09.08.

Другое дело обстоит с применением выбранной темы. Пример: Страна восходящего солнца, пагода, сумо. Любая из этих тем может определить свое направление проектирования интерьера, создания действительно индивидуального образа. Иногда тема помогает определить формирование набора атрибутов, когда стиль не обозначен явно как реально существующий.

Вербальный прием определения образа достигает порой заранее непредвиденных, но положительных результатов. Примером может служить тема оформления интерьера магазина канцтоваров по продаже в основном школьных принадлежностей. Средства раскрытия этой темы таковы: выделяется, допустим, общий термин «милитари» (вооружен знаниями и средствами, готов к решению задач, ручки и карандаши — ракеты и патроны... карты, атласы, тетради — все для составления планов атаки на объемы знаний). Такая, казалось бы, далекая от школьного обучения тема приводит ряд знаковых атрибутов, не противоречащих друг другу. Милитаристский камуфляж, например, преобразуется в разноцветные пятна кляксы... Чем не тема дальнейшего развития?

Интерьер, наделенный тематическим образом, — не самоцель, и являет собой лишь стремление более конкретно обозначить путь собственного существования и возможного развития. В целом ориентация на применение подобной методики достаточна как принцип последовательных шагов для достижения необходимого результата.

ДИЗАЙН В КОНТЕКСТЕ ГУМАНИТАРНОГО ЗНАНИЯ

С. В. Щедрина

В статье анализируются различные направления дизайнерской деятельности как целостная система. Продукт дизайнерской деятельности должен иметь конкретный адрес, а дизайнерская деятельность должна опираться на знание психологии заказчика, потребителя, покупателя. Особое значение придается визуальным качествам дизайнерского продукта в частности и визуальной культуре в целом. Предлагается уделять больше внимания формированию современной визуальной культуры и прогнозированию тенденций развития материальной среды.

Слово «дизайн» в русском языке появилось относительно недавно. Оно заимствовано из итальянского языка и имеет множество толкований. «Designo» означает не только чертеж или рисунок, но и сложные вещи — всю область работы художника. Замысел, намерение, создание модели и композиции — все это включает понятие дизайна. Стремительное развитие современных технологий влечет за собой расширение границ дизайнерской деятельности. Дизайн, являясь целым направлением, затрагивает все области жизнедеятельности человека, охватывает все аспекты окружающей среды.

Дизайнер должен свободно ориентироваться во многих предметных областях и умело применять знания на практике, проецируя в творческом процессе создание образа. Можно с уверенностью сказать, что дизайн — это современное искусство художественного конструирования, разработка образцов рационального построения предметной среды.

Дизайн возник в начале XX в. в результате стихийного формирования визуальных и функциональных свойств окружающего мира. В России употреблялись понятия «декоративное искусство» и «промышленная эстетика». В 1959 г. в качестве международного обозначения слова «дизайн» был принят термин «индустриальный дизайн».

Дизайн — это целая система, которая, проникая во все сферы жизнедеятельности человека, способна организовывать новые направления. Находясь в постоянном развитии, подобно живому организму, дизайн формируется под воздействием социально-культурных процессов. Тенденция развития новых направлений обусловлена прежде всего естественным человеческим стремлением к прекрасному, а также желанием воплощения новых совершенных образов.

Роль дизайна велика и многогранна. Затрагивая все аспекты человеческой жизни, он способен убеждать, влиять, провоцировать и



Рисунок
Направления дизайна

формировать. Вооружившись определенными знаниями профессионального характера, дизайнер способен манипулировать сознанием людей с помощью воплощения мысли в образ. Многие задаются вопросом: возможно ли это? Процесс достаточно трудоемкий и требует специальной подготовки, поскольку затрагивает комплекс специализированных знаний, а также знаний в области педагогики и психологии.

Проводя маркетинговые исследования, фирма, производящая продукты питания, получила четкую классификацию психотипов тестируемых покупателей. Этот анализ позволяет создавать продукцию, ориентированную на определенную группу людей. Такие группы формируются по эмоциональным потребностям. Осуществляя мониторинг, специалисты выделили шесть основных групп: лисы, зайцы, собаки, дельфины, слоны, тигры. Каждая группа получила название животного, с которым ее отождествляют, и характеристику личности (рационализм, внутренний комфорт, семейное благополучие, престиж и т. д.). (табл.) [1]. Несмотря на четкую классификацию, наличествуют и смешанные психотипы (лисы — слоны, дельфины — тигры и т. д.).

Учитывая все эмоциональные и вкусовые потребности, ориентируясь на выявленный психотип, дизайнер разрабатывает упаковочную продукцию (цвет, форму упаковки, изображение и т. д.). Продукт приобретает нужный вкусовой эффект. Упаковка становится более привлекательной, изобилуя наклейками, магнитами, информацией о проводимых

Таблица

Характеристика личности покупателей. Психотипы

Психотип	Характеристика личности. Эмоциональные потребности и предпочтения
Лисы (рационализм)	Рассудительные, разумные люди. В целом характерна интровертная направленность и ориентация на профессиональную реализацию. В зависимости от материального состояния предпочитают оригинальные, стильные либо традиционные и обычные товары
Зайцы (внутренний комфорт)	Спокойные, умиротворенные, заботливые люди. Чувствуют, что любят и любимы. Необходима своя, родная, универсальная, заботящаяся о здоровье продукция
Собаки (семейное благополучие)	Ориентированы на семью. Дружелюбные, общительные, заботливые, гостеприимные люди
Слоны (престиж)	Уверенные, сосредоточенные, уравновешенные, с хорошим вкусом. Чувствуют, что выбирают все самое лучшее, ориентированы на известные бренды
Тигры (жизненная энергия)	Энергичные, активные, любители ярких и острых ощущений. Чувствуют потребность в интенсивной физической активности. Ориентированы на карьеру и успех. Предпочтение отдают высококачественным, изысканным вновь появившимся товарам известных марок
Дельфины (стремление к удовольствиям)	Соблазнительные, привлекательные, живущие полной жизнью люди, стремящиеся от всего получить удовольствие. Открыты для новых впечатлений. Акцентируют внимание на всемирно известных современных брендах

компаниями акциях. Покупатель порой не понимает, почему он отдал предпочтение новому товару, нежели уже проверенному и испытанному.

Товары, рассчитанные на детскую аудиторию, пользуются широким спросом. Нередко, веря рекламным трюкам, родители выбирают не продукт, а упаковку, которая якобы помогает развить или обучить (упаковка молочной продукции с комплектом цифр: «собери все цифры и научись считать»). Порой многие компании прибегают к хитрым уловкам, скрывая под красивой оберткой некачественные товары.

С учетом всех возможностей современного дизайна (полиграфия, печать) и тех знаний, которыми пользуются профессионалы-дизайнеры (художественные навыки) возрастает роль подготовки специалиста, который станет не только исполнителем продиктованных условий, но и человеком, способным создавать визуальную культуру, не прибегая к «дешевым» дизайнерским уловкам. Визуальная культура — это та область, которую созидает и изменяет дизайнер. Но что означает термин «визуальный»? Слово «visual» заимствовано из английского языка и является необычайно емким: человек с преимущественным развитием зрительной памяти; изображение, зрительный ряд; видимый, зримый, ощутимый (в противопоставлении нереальному), наглядный, образный; оптический.

Дело в том, что сегодня ряд проблем культуры и профессиональной жизни требует от человека специальной визуальной образованности. Более интенсивное, а главное, массовое подключение человека к изобразительному искусству, к произведениям полиграфической промышленности, дизайна и графики, появление новых насыщенных визуальным материалом профессий и способов общения предполагает и встречное развитие способности человека к визуальному восприятию. В настоящее время дизайнеры, искусствоведы, педагоги считают, что у детей в ходе воспитания должны формироваться визуальная установка, особое отношение к видимому как к «тексту», обладающему рядом значений [2, с. 13]. Основываясь на такого рода умозаключениях, можно обозначить существенную роль визуальных установок, формирующихся на ранних возрастных этапах развития. Специализированные высшие учебные заведения способны лишь выявлять, корректировать и продолжать формировать эти установки. Как отмечает В. М. Розин, хотя идея «визуального» и существует как установка, как цель современного теоретического мышления в ряде областей и дисциплин, явление визуального восприятия как сознательный, сформированный факт поведения и деятельности человека (реальный факт социальной практики) еще не вышло из «эмбрионального» состояния. Поэтому задача заключается не только в изучении визуальных феноменов, но и в разработке всевозможных социальных, психологических и «технических» средств, обеспечивающих условия для реального становления визуальных явлений [2, с. 14]. Изучать такие явления необходимо системно, принимая во внимание поведение людей в определенных условиях (эстетическая практика в дизайне).

Концентрация внимания и усилий на проблемах визуального не случайна: за этой ориентацией кроется, с одной стороны, область разнообразных исследований и инженерных (дизайнерских) разработок, без которых, вероятно, не сможет обойтись ни современная, ни будущая культура; с другой — определенная форма осознания современной культуры [2, с. 17].

Культура не герметична, она постоянно впитывает в себя дополнительную информацию и порождает новые открытия, связанные с новыми познаниями, с изменениями в сознании человека, а также с развитием научно-технического прогресса. Расширение коммуникационных средств выводит дизайнера в самые неожиданные сферы личного опыта. В этом случае заложенный в учебном процессе пласт знаний сублимируется, помогая специалисту выявить путь развития его сферы деятельности.

В современном обществе образование служит основой воспроизводства духовного, культурного и интеллектуального потенциала. Оно способно предопределить дальнейшее развитие страны. Необходимо учитывать, что база заложенных «сегодняшних» знаний во многом способна повлиять на развитие страны в будущем. В свете таких событий наиболее значимым становится учебный процесс, способный сформировать и подготовить спе-

циалиста, который будет являться носителем культурных эталонов.

Необходимо акцентировать внимание на важности образовательного процесса, так как плохо подготовленный специалист сегодня может повлечь за собой качественные изменения со знаком «минус» в будущих культурных процессах в области его профессии.

Учебный процесс подготовки специалиста в области дизайна, с нашей точки зрения, должен учитывать накопленный опыт предшественников, инновационные подходы и последние публикации, знакомящие с широким диапазоном дизайнерских возможностей. В силу этих обстоятельств в важности и значимости вышеизложенного не может быть никаких сомнений, следовательно, учебный процесс должен строиться на основе трех составляющих:

1) история дизайна, возникновение, предпосылки;

2) современный дизайн. Мировые тенденции;

3) прогностический дизайн (дизайн в будущем).

В свою очередь каждое из направлений (рис.) способно углубить и расширить диапазон этих знаний в конкретной области, что предполагает создание необходимых условий для дальнейшего созидания в этом направлении.

Учитывая два первых компонента — историю дизайна и культуру на современном этапе, — можно предугадать последующее развитие дизайна, т. е. спрогнозировать тенденцию его развития. В важности и значимости первого компонента для учебного процесса не может быть сомнений, поскольку, прибегнув к изучению истории, мы сможем систематизировать базу накопленного опыта. Второй компонент принимается и рассматривается в учебном процессе как совершившийся факт или данность, но третья составляющая (дизайн в будущем) является непонятной и наиболее значимой. Созидатель или человек творческой профессии должен постоянно задавать себе вопросы: «Что произойдет, если...»; «Что может измениться, если...». Например, как может измениться область, над которой я работаю, если я последую по пути материальных выгод?

Оперируя знаниями, полученными при изучении стилей и эпох, будущий специалист либо продолжит развитие стилистических тенденций, либо, выбрав эклектику, станет разработчиком нового стиля и новатором в своей области. Этот компонент часто выпадает из внимания. Педагогам, преподающим соответствующие дисциплины, необходимо об этом говорить и учитывать все вышеперечисленные составляющие при построении учебного процесса. Важно и необходимо формировать у специалиста способность предвидеть последующие результаты его деятельности, т. е. спрогнозировать тенденции ее развития. Нередко «действие» созданного продукта носит не созидательный, а разрушительный характер. В действительности мы сталкиваемся с множеством примеров рекламного характера, которые выполняют эту разрушительную роль. Не только подрывается культурный уровень в целом, но и указывается направление для будущих разработчиков (дизайнеров), задается ритм и создаются ложориентиры. Если об этом не говорить сегодня, что мы можем увидеть в будущем? На что сможем ориентировать будущих специалистов? Положительным является только одно: ставя под сомнение профессиональные качества таких специалистов, можно воспользоваться их «творением» в качестве отрицательного примера. Учебный процесс и учебный материал творческой дисциплины должны не только строиться на эталонах, но и включать серию отрицательных примеров. Подвергая детальному анализу неудачный материал, стоит акцентировать внимание на общих положениях. (Например: «Это изображение размещено неграмотно, потому что противоречит общим законам композиции».) Такие моменты в структуре урока позволяют не только закреплять пройденный материал, но и формировать чувство художественного вкуса у будущих специалистов. Понятие «вкус» имеет ряд определений. В европейских языках оно связывается с оценкой явлений. Например, немецкое *Teschmack* (вкус) обозначает эстетическое состояние, способность оценивать явления общественной жизни, природы, искусства как прекрасное, безобразное. В словарях русского языка Д. Ушакова и В. Даля вкус выделен также в связи с оценкой. В области эстетики вкус выступает прежде всего как оценочная категория. Эстетический

вкус рассматривается как критерий художественных оценок (А. Буров), не только как система оценки, но и как «тип отношения человека к объективной действительности, преобразуемый практикой». Известный теоретик искусства Бате в трактате «Изящные искусства, сведенные к единому принципу» (1746) усматривает этот «единый» принцип в специфическом художественном «подражании природе» или «прекрасной природе». Этим принципом руководствовался гений при создании произведения искусства, и опора на этот принцип при его оценке показывает наличие вкуса. «Поэтому если гений, как мы сказали: творит художественное произведение, подражая прекрасной природе, то вкус, оценивая творение гения, может быть удовлетворен только хорошим подражанием прекрасной природе».

Само же чувство вкуса способно формироваться под воздействием чего-либо. Основными условиями развития художественного вкуса у студентов являются творческая деятельность. Студент вовлекается в творческий процесс, где необходимым условием является постановка целей, определение задач в выборе содержания и способе организации деятельности. Как завершающая стадия — анализ результатов. В процессе дискурсивного анализа и в ходе практической деятельности педагог способен выявить уровень художественного вкуса обучаемого. На стадиях развития и формирования творческого потенциала будущего специалиста возможна коррекция с помощью эталонных примеров (демонстрация произведений, подбор специализированной литературы, посещение выставок).

Деятельность дизайнера многогранна. и обязательным условием создания какого-либо продукта является наличие художественно-эстетического вкуса. Ошибочно мнение тех людей, которые сужают представление о профессии до элементарного: «владеешь знанием определенных графических программ — ты уже дизайнер». Эти заблуждения стоит опровергать. Путь становления профессионала, как было сказано ранее, сложный и длительный. Он требует тщательной подготовки, поскольку носит глобальный характер. Поэтому в содержание образовательных программ входит не только цикл общепрофессиональных дисциплин, но и комплекс гуманитарных наук. Во всей обучающе-воспитательной системе обязательным является наличие дисциплин, знакомящих с историей, этнографией, культурологией, что позволяет ориентировать студентов на осознание ценности и значимости мировой исторической культуры. Знания в области психологии играют тоже не последнюю роль, в чем мы убедились. Являясь целым направлением, дизайн практически опирается на психологию и умело пользуется этими знаниями в своих целях. Психологические приемы находятся в неразрывной связке с практикой дизайнерского ремесла. Это мощное оружие, которое способно манипулировать, разрушать и созидать. Грамотная подача дизайнера способна влиять на человека, изменять его мышление и оказывать влияние на все сферы его жизни. В подтверждение можно сослаться на признания политиков о силе информационной ветви власти (проведение предвыборной кампании: буклеты, брошюры, логотипы партий, слоганы).

Современное дизайнерское ремесло оказывается поистине виртуозным, о чем свидетельствует высказывание В. Папанека о силе рекламы, с которым трудно не согласиться: «Убеждать людей приобрести то, что им не нужно, на деньги, которых у них нет, чтобы произвести впечатление на тех, кому до этого нет никакого дела, — сегодня это стало поистине виртуозным» [3, с. 5].

В силу вышеизложенного можно судить о существенной роли деятельности специалиста. Какой будет эта роль, какие процессы будут происходить в ходе его деятельности, нередко зависит от базы заложенных знаний. Сделаем вывод: роль педагога, подготавливающего дизайнера, должна быть многогранной и нести за собой не только передачу накопленного личностного опыта, но и готовность сиюминутно анализировать происходящее (информированность педагога о всех новых тенденциях, веяниях и разработках). В современном общественном сознании предъявляются повышенные требования к специалистам. Эти требования необходимо учитывать в процессе подготовки специалиста, так как они являются условиями, которые способны раскрыть его как профессионала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструментарий Need Scope®. — 2007. — С. 5—12.

2. **Розин В. М.** Визуальная культура и восприятие : как человек видит и понимает мир / В. М. Розин. — М. : Эдиториал УРСС. 1996. — 224 с.

5. **Папанек В.** Дизайн для реального мира : пер. с англ. / В. Папанек. — М. : Издатель Д. Аронов, 2004. — 416 с.

Поступила 16.09.08.

ДИЗАЙН КАК ТВОРЧЕСТВО

Н. В. Белкина

В статье рассматривается дизайн как творческая деятельность и проектная культура конца XIX — начала XXI в. Сформулированы главные цели и задачи дизайнерского образования. Дана характеристика творческой составляющей учебного процесса подготовки будущих дизайнеров. Творческий процесс завершается формулированием проектной идеи. Приводятся критерии оценки проектных идей: новизна, потенциальные возможности, оригинальность, гибкость, эффективность, адекватность и др.

Мы часто удивляемся, откуда у дизайнеров столько новых актуальных идей и что является источником вдохновения в творчестве. По какому принципу из огромного количества набросков выбирают всего один в качестве генератора идей? Интересно то, что все идеи редко бывают абсолютно новыми: творчество дизайнеров основано на преобразовании окружающего мира. Это систематический кропотливый труд с удивительным неповторимым индивидуальным взглядом мастера на привычные вещи, события и явления и манера преобразования их в оригинальные эксклюзивные дизайнерские творения.

Дизайн как особая творческая деятельность возник в сфере промышленного производства в XIX—XX вв. В дизайне соединяются красота и польза, стирается граница между искусством и техникой. Дизайн является проектной деятельностью и связан с культурой нового типа — проектной культурой, объединившей научно-техническую и гуманитарную культуры на качественно ином уровне, когда определяющей чертой современного мышления стала проектность, связанная с творческой деятельностью человека и соответствующая новому положению человека в мире, его взаимоотношениям с окружающей средой. В условиях научно-технического прогресса проектность является основным способом воспроизводства проектной культуры, которая ориентирована на непрерывное изменение образа жизни и охватывает во взаимосвязи все аспекты деятельности по созданию нового изделия — технические, экономические, социальные, эстетические.

Дизайн как проектная деятельность удовлетворяет разнообразные потребности человека и общества как осознанную или неосознанную необходимость в тех или иных условиях или предметах для нормального функционирования социальной системы или жизни человека.

Сущность дизайна неразрывно связана с понятием предметной среды. Предметная среда — это совокупность окружающих человека изделий и их комплексов, используемая им для организации фундаментальных процессов жизнедеятельности человека.

Дизайн — творческая проектная деятельность, целью которой является создание гармоничной предметной среды, наиболее полно удовлетворяющей материальные и духовные потребности человека. Дизайнер — это специалист, работающий в сфере дизайна и обеспечивающий высокие потребительские свойства и эстетические качества изделий и предметной среды.

Дизайнер костюма в классификации профессий относится к типу «человек — художественный образ». Деятельность связана с созданием, проектированием, моделированием художественных произведений (художник, журналист, модельер), с воспроизведением, изготовлением различных изделий по эскизу, образцу (ювелир, закройщик). От человека профессии этого типа требуется развитый художественный вкус, высокая эстетическая чувствительность, богатое и яркое воображение [4]. Объектами дизайна могут быть промышленные изделия, элементы и системы городской, производственной и жилой среды.

При подготовке специалистов данного направления на первый план выходят задачи развития образно-ассоциативного мышления, интенсификация творческого процесса, ориентация на генерирование новых идей, воссоздание в современных проектах культурных и национальных традиций. В современных условиях требуется специалист, ориентированный на эксперимент, сознательно ставящий перед собой определенные задачи при проектировании (в нашем случае — проектировании одежды) и способный с помощью самых разнообразных методов решать эти задачи [3].

Целью дизайнерского образования является подготовка выпускника с активной творческой познавательной, исследовательской и практической деятельностью, так как дизайнер всегда должен ощущать пульс времени, хорошо ориентироваться в современных течениях и направлениях искусства, тенденциях моды. Целью эскизных разработок моделей одежды является поиск образной графопластической выразительности идеи [5]. Художественный образ формируется в процессе творческого мышления. Механизм творческого мышления можно представить как цепочку: идея — воображение — вдохновение — подсознание — сознание.

Уникальность индивидуальных характеристик личности рассматривается учеными как одна из важных составляющих творческого процесса. Основатель гуманистического направления в психологии К. Роджерс писал в связи с этим: «Я понимаю под творческим процессом создание с помощью действия нового продукта, вырастающего, с одной стороны, из уникальности индивида, а с другой, — обусловленного материалом, событиями, людьми и обстоятельствами жизни» [6].

Н. Петров, бизнес-тренер и консультант, дает свою характеристику и определение творчества:

1. Творчество — деятельность, порождающая нечто качественно новое и отличающееся неповторимостью, оригинальностью и общественно-исторической, а не только индивидуальной уникальностью.

2. Творчество необходимо во всех сферах жизни для выживания и развития.

3. Творчество, обладающее индивидуальной уникальностью, ценно само по себе. Кроме того, оно может быть шагом к творчеству, обладающему общественно-исторической уникальностью.

4. Необходимо преодолеть традиционное игнорирование творчества. Общество обычно не признает за нами права на творчество, оно требует от нас скорее исполнительности и следованию нормам.

5. Необходимо бороться с предрассудком, гласящим, что творчество — удел избранных.

6. Для творчества важен не талант, а ресурсы. Талант либо есть, либо нет. Ресурсы для творчества есть у всех. Ресурс — любое душевное качество, облегчающее выполнение актуальной задачи. Ресурсом необходимо научиться пользоваться. Для того чтобы сознательно использовать наши творческие ресурсы, нужно: осознать их наличие и значение, развить, добавить к ним новые ресурсы и технологии, научиться эффективно использовать их.

7. Ресурсное состояние — состояние, в котором человек знает, что у него есть ресурс, знает, как им пользоваться, и использует его. Ресурсное творческое состояние — частный вариант ресурсного состояния, используемого для творчества.

8. Этапы творчества: а) развитие силы для творчества; б) борьба; в) включение ресурсного (творческого) состояния; г) ресурсное (творческое) состояние; д) новая норма. Знание этапов творчества позволяет оценить себя с точки зрения их освоения и развить отстающее.

9. В творчестве участвует не только мышление, но и все наше существо. Этапы творчества запускаются разными нейрогормонами.

10. Опыт и приемы великих творцов и тех, кто окружает нас, позволяют испытать их на

себе и решить, что мы будем использовать в дальнейшем. Мы также можем получить импульс к изобретению новых технологий творчества. Еще важнее найти в биографии прецеденты творчества и выяснить, какие ресурсы и приемы были использованы.

11. Сознательность творчества. Сознательно работать с личными ресурсами и технологиями, увеличивать силу для творчества, ставить перед собой цели.

12. Использование возможности сознания и подсознания.

13. Необходимо осознать, какие технологии уже используются, изучить новые, начать изобретать собственные технологии, эффективно применять арсенал технологий.

14. Органичность творчества основана на использовании собственных ресурсов и соответствующих им технологий. Использование неорганичных технологий делает нас непродуктивными и порождает чувство вины. («У других получается, а у меня — нет».)

15. Понимание парадокса творчества и парадоксальности творца позволяет видеть объект творчества и себя во всех противоречиях. Для творчества нужны твердость (целеустремленность и технологичность) и мягкость (ассоциативность, эмоциональность, чувствительность, восприимчивость). Творчество рядом и одновременно неуловимо.

Разработка идеи является завершающим этапом творческого процесса. Идея — форма отражения окружающего мира, синтезирующая определенную совокупность понятий и представлений в целостное единство, выражающее их сущность. Идея активно воздействует на ход развития общества, способствуя или препятствуя его изменению [1].

Идеям, возникшим в результате осмысления темы, присуща смысловая неопределенность. Это всего лишь интонация, эмоциональное отношение к теме. Далее воображение воспроизводит впечатления и картины, хранящиеся в памяти, комбинирует и мысленно рисует искомый художественный образ. Это стимулирует вдохновение, которое рождает бурную творческую энергию, приводит к богатству ассоциаций и непосредственному включению в творчество накопленного в подсознании художественного опыта. Подсознание под влиянием различных впечатлений рождает огромное количество вариантов решения темы, а интуитивное эстетическое чувство, чувство красоты и гармонии заставляют отобрать из этого числа наиболее интересные образы. Сознание же контролирует основную цель художника, организует работу эмоционального творческого мышления вокруг сверхзадачи и доводит ее до совершенного осуществления [2].

Выбрав и тщательно изучив наиболее интересные и привлекательные аспекты источника творчества, студенты приступают к дальнейшим разработкам в форме эскизов. Возможности раскрытия тем не ограничены. Полет фантазии приветствуется. Использование различных выразительных графических средств и композиционных решений помогает в создании свежих и динамичных образов. Важно, чтобы итогом работы стало создание четко выстроенного ряда моделей.

Учитывая вышесказанное, необходимо рассмотреть критерии оценки творческих идей, выведенные А. Малыгиным.

Новизна. Идея обладает новизной, если она предлагает новые процессы, концепции, способы и материалы. Новизна идей проявляется в расширении поля исследования проблемы.

Потенциальные возможности. Проявляются в способности идеи побуждать к нахождению новых решений.

Оригинальность. Это наиболее общая характеристика для оценки продукта интеллектуального творчества. С практической точки зрения идея считается оригинальной, если подобной нет среди уже известных людям, работающим в определенной области. Поэтому инженерная идея, предложенная бухгалтером, может быть оригинальной именно для него, а не для инженера.

Гибкость. Очень важная характеристика идеи. С одной стороны, обладая этим качеством, идея дает новый взгляд на проблему, новый путь ее решения, с другой — она и сама способна к изменению и модификации.

Эффективность. Идея эффективна, если с ее помощью можно рассматривать любые компоненты проблемы.

Адекватность. Суть этого критерия — достаточность идеи. Она адекватна, если отвечает степени сложности проблемы. Адекватность идеи может быть определена как ее способность преодолеть препятствия на пути к решению задачи. Добавим, что идея, помо-

гающая решать более сложные проблемы, будет оценена значительно выше, нежели не обладающая таким качеством.

Применимость. Характеризует степень удобства использования идеи для решения данной задачи. Этот критерий близок по смыслу к адекватности, которая оценивается тем, насколько отвечает идея сути проблемы.

Логичность. Применение этого критерия в оценках значимости идеи нередко вызывает удивление. Мы привыкли думать, что наши мысли всегда логичны. Однако имеет смысл использовать рассматриваемый критерий для выявления того, насколько идея отвечает «правилам игры», т. е. соотносится с общепризнанными научными фактами. Использования лишь этого критерия недостаточно для определения ценности идеи. Яркая логичная идея должна к тому же обладать новизной, которая будет выделять ее среди других не менее логичных идей.

Полезность. Идея, которую можно применить к решению определенных задач, уже полезна сама по себе.

Ценность. Любая идея, применяемая для решения проблем, обладает определенной ценностью. Чем шире круг решаемых с ее помощью задач и чем они сложнее, тем выше ценность идеи.

Проработанность и комплексность. Критерии, относящиеся к этой категории, отражают главным образом эстетические качества идеи. Использование таких критериев весьма субъективно и дает эффект лишь при наличии взаимопонимания между создателем идеи и ее оценщиком. Этот вопрос теряет актуальность, когда Вы оцениваете собственную идею. Комплексность идеи определяется степенью учета ею различных элементов — компонентов проблемы — и сведением их в единое целое.

Привлекательность. Идея обладает привлекательностью, если она обращает на себя внимание людей, которые ее рассматривают, или же тех, на кого она оказывает влияние. В дополнение к ощущению красоты, обычно ассоциирующемуся с привлекательностью, такая идея может также вызывать удивление, изумление, радость и готовность принять ее безоговорочно.

Степень сложности. Если идея объединяет множество элементов в одну систему, то мы говорим о ее комплексности. Степень сложности идеи может рассматриваться в различных аспектах: техническом, содержательном, феноменальном. Комплексность идеи ассоциируется также с определенной сферой применения и многообразием учитываемых ею факторов.

Изящество. Проявляется в способе изложения идеи. Изящная идея характеризуется простотой, доступной формой представления сложных понятий.

Выразительность. Ясность изложения сути идеи. Выразительная идея лучше и легче воспринимается. Очевидно, даже ценная идея может быть отвергнута, если она не представлена в соответствующей форме.

Органичность. Идея, комплексная или целостная, сама по себе уже органична: она воспринимается как единое целое, как система.

Возможность реализации. При рассмотрении хорошо проработанной идеи иногда становится очевидным, что ее реализация требует немалых сил. Чем больше ошибок сделано при формулировании идеи, тем более трудоемкой будет ее реализация.

Руководствуясь подобной схемой, дизайнер может оценивать любой замысел. Подтверждением этому являются критерии оценки проводимых конкурсов молодых модельеров, в которых прежде всего оцениваются: умение уловить изменчивость моды, ее цветов, фактурных и конструктивных решений, использование модных форм, материалов, аксессуаров; гармония между формой одежды и реальными образами и типами моделей; способность прогнозировать общий характер геометрической формы изделий; умение прогнозировать, направлять и управлять запросами потребителя; возможность взаимопреемственности вещей, умение создавать универсальную моду будущего. Важность этих критериев не вызывает сомнений. Учебный процесс базируется на основных постулатах, строится с учетом требований, предъявляемых ко всем дизайнерским разработкам. На практических занятиях студенты специализации «Дизайн костюма» разрабатывают идеи на базе предложенных тем, входящих в структуру программ, с целью выработки навыка применения теории на практике.

Важна способность педагога донести до студента технологические особенности образо-

вательного процесса. Первостепенной задачей является формирование первичных навыков, с последующим развитием творческого потенциала и обучением технологическим приемам.

Педагогический аспект технологического процесса — грамотное управление со стороны педагога. Большая часть часов в учебной программе подготовки дизайнеров отведена лабораторным и практическим занятиям. Специфика данного процесса ориентирована на индивидуальный подход к каждому студенту. Творческий процесс не может дать, как в математике, единого ответа на поставленный вопрос. Разнообразие творческих решений любого студента требуют от преподавателя индивидуальной корректировки на каждом этапе разработки идеи.

Эту схему легко использовать для самотренировки, повышения творческого потенциала, развития мыслительных способностей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Абдусамедов А. И.** Атеистический словарь / А. И. Абдусамедов, Р. М. Алейник, Б. А. Алиева [и др.]. — М. : Политиздат, 1986. — 512 с.

2. **Борев Ю. Б.** Эстетика / Ю. Б. Борев. — М. : Политиздат, 1988. — 490 с.

3. **Гусейнов Г. М.** Композиция костюма / Г. М. Гусейнов, В. В. Ермилова, Д. Ю. Ермилова. — М. : Академия, 2003. — 432 с.

4. **Килошенко М. И.** Психология моды / М. И. Килошенко. — М. : Оникс, 2006. — 320 с.

5. **Петушкова Г. И.** Проектирование костюма / Г. И. Петушкова. — М., : Академия, 2004. — 415 с.

5. **Роджерс К. Г.** Взгляд на психотерапию. Становление человека / К. Г. Роджерс. — М. : Прогресс : Универс, 1994. — 478 с.

Поступила 16.09.08.

УПРАЖНЕНИЕ «ВИТРАЖ» В СТРУКТУРЕ КУРСА «ОСНОВЫ КОМПОЗИЦИИ»

С. Н. Коломиец

В статье даются практические рекомендации для выполнения упражнения по теме «Витраж» в пропедевтическом курсе композиции. Световая композиция включается в интерьер — целостную среду внутреннего пространства различного функционального назначения. Световая композиция должна вписаться в ансамбль интерьера (центр композиции, соразмерность, колористика, освещение). Указывается на необходимость использования современных достижений в области освещения и источников света (функциональность, эффектность, выразительность).

Интерьер (от французского interieur — внутренний) — архитектурно и художественно оформленное помещение здания. Различают интерьер жилой и общественный. Важнейшими элементами, определяющими художественный облик интерьера, являются его отделка и оборудование. Как показывает практика, удачное сочетание современных отделочных материалов и изысканных предметов мебели может даже самый скромный интерьер сделать интересным и запоминающимся.

Не один, не два предмета составляют интерьер. Ведь каждый из них, как правило, имеет практическое назначение и способен удовлетворять лишь одну человеческую потребность. Человек собирает вокруг себя то, что ему нужно для жизни. Этим прежде

всего и обусловливается необходимость ансамблевого решения интерьера. В последнее время все настойчивее и последовательнее заявляют о себе не только функциональные, но и эстетические требования. Следует учесть, что любое произведение декоративно-прикладного искусства начинает полновесно звучать только в ансамбле с другими предметами, которые все вместе образуют интерьер. Именно потому, что идейно-эмоциональное звучание изолированной вещи недостаточно явственно и при этом кратковременно, возникает художественная необходимость в организации большого ансамбля. Такой ансамбль призван создать вокруг человека замкнутую эмоционально насыщенную среду, способную активно воздействовать на его чувства и вызывать определенный душевный настрой.

Сегодня принцип ансамбля стал одним из основных в декоративно-прикладном искусстве и архитектуре (сразу уточним: под ансамблем интерьера мы понимаем организованную художественную систему, где все взаимосвязано и обусловлено единым художественных замыслом и функциональным назначением каждого предмета). Вместе с тем в современном интерьере ясно намечается тенденция к его психологизации, отчетливо ощущается стремление выразить определенное идейно-эмоциональное отношение к миру средствами композиции. Новый интерьер воспринимается как своего рода объемная живопись. Действительная цельность композиции достигается тщательно подобранной гаммой цветов, сопоставлением фактур, ритмом линий, игрой света и тени, соотношением разных пространственных величин. Объемные, реально весомые формы воспринимаются из-за этого более плоскостно, а ограничивающие их поверхности, напротив, — более глубинно, как бы пейзажно, что позволяет зрительно «раздвигать» стены и «поднимать» потолок.

Выразительными художественными средствами для создания цельного гармоничного ансамбля интерьера являются: пластическая и ритмическая организация пространственной среды; масштабное согласование всех предметов (критерий — фигура человека); цветовое единство; соблюдение функционального назначения всех предметов.

Под ритмической организацией среды подразумеваются расстановка и группировка всех предметов, составляющих убранство интерьера (мебели и осветительной аппаратуры, керамики и стекла, изделий из текстиля и т. д.).

Думая об убранстве интерьера в целом или об отдельной обособленной ее функциональным назначением части, необходимо прежде всего решить, что будет главным в художественном решении. Каждый интерьер должен иметь композиционный центр — узловое звено в его художественном оформлении. Этот центр концентрирует на себе внимание, играет основную организационную роль в ансамбле, диктует ритмический строй всего интерьера. В зависимости от функционального назначения разных помещений или отдельных зон одного помещения в одном интерьере могут быть один, два и даже более композиционных центра. В любом случае композиционные центры всегда должны быть связаны, образуя единое целое (такая связь нескольких композиционных центров в интерьере обеспечивается их соподчинением — один из центров доминирует).

Можно утверждать, что соразмерность внутренних форм, соразмерность их габаритов по отношению к фигуре человека — необходимое условие убедительного решения ансамбля интерьера. Естественно, масштабные соотношения рисунка и среды всегда активно участвуют в ритмической организации ансамбля интерьера.

Огромная роль в образном решении современного интерьера принадлежит цвету и колористическим отношениям в пространственной среде, обладающим сильным эмоциональным воздействием на человека. Ранее уже отмечалось, что цвет, «настраивая» психику человека на определенный лад, вызывает у него определенный строй мыслей и чувств.

Цветовое (колористическое) решение современного интерьера предусматривает в основном два направления. Первое — тональное, когда за основу берется один цвет и дополняется близкими к нему цветами (сочетание родственных цветов), или когда используются цвета одного тона, но разной насыщенности и светлоты (однотоновые гармонии). В результате создается единая спокойная гамма цветов, которая не отвлекает и позволяет сосредоточиться, успокаивает. Второе направление — с применением сочетаний родственно-контрастных и контрастных цветов. При этом сле-

дует учитывать, что контрастные сочетания цветов в интерьере часто дополняются нейтральными ахроматическими или близкими к ахроматическим цветами, которые смягчают активность, агрессивность контрастных цветов, одновременно подчеркивая их сочность и звучность. Кроме того, в настоящее время при решении интерьера нередко одновременно используют тональные и контрастные сочетания (как в различных помещениях, так и в различных зонах одного интерьера).

В современном интерьере важное значение приобретает умение дизайнера пользоваться широким спектром новейших технологических достижений в области источников света. Важно грамотно выстроить сценарий освещения интерьера с точки зрения функциональной направленности помещения. С помощью светильников, люстр, торшеров, бра и всевозможных подсветок решается задача ритмической организацки интерьера, акцента внимания на отдельные пространственные зоны, создания в итоге необходимого настроения или определенного свето-цветового образа данного интерьера.

Чаще всего современный дизайнер предпочитает избегать прямого попадания световых потоков на сетчатку глаза. В связи с этим он либо выбирает осветительные приборы направленного действия, либо просто прячет освещение во всевозможных нишах, за карнизами, выступами, в проемах между подвесными потолками и стенами. Так называемая скрытая подсветка позволяет придать интерьеру некоторую воздушность, визуально раздвинуть пространство, смягчить цветовую гамму помещения, выявить фактуру отделочных материалов, добавить, если необходимо, образу интерьера или загадочности, или торжественности, или интимности в зависимости от поставленной задачи. Исходя из всего вышесказанного возникает необходимость обучения студентов интерьерных и архитектурных специальностей навыкам использования направленных световых потоков и светоотражающих свойств плоскости.

На кафедре искусства интерьера архитектурно-строительного факультета Мордовского государственного университета им.Н. П. Огарева в рамках курса «Основы композиции» были разработаны упражнения. Одно из них посвящено световой организации внутреннего пространства и носит условное название «Витраж». Оно, конечно, не вполне соответствует сути исследуемого явления. Скорее всего, связано с тем, что восприятие создаваемой композиции возможно исключительно при наличии задней подсветки, поэтому наиболее удобно демонстрировать (выставлять) готовую вещь на фоне окна.

В пластическом решении данной задачи возможны два основных подхода: конструктивно-структурный и формально-графический. Во втором случае возможно использование каких-либо предыдущих наработок из программы курса «Основы композиции» (например, из упражнения «Симметрия и асимметрия»), так как само по себе данное упражнение направлено исключительно на эксперимент с физическими свойствами света и отражающими свойствами плоскости.

При исполнении макета рекомендуется применять плотные материалы, не пропускающие свет (картон), а также внимательно следить за аккуратностью подгонки картона на разных уровнях глубины с целью недопущения щелей, через которые свет будет напрямую проходить через макет и мешать восприятию тонких нюансных тоновых растяжек отраженного света. Определенную пользу для художественного восприятия макета может принести введение цвета посредством нанесения красочного слоя (гуашь, акрил) на края картона с обратной стороны, что придаст отраженному свету некоторую цветовую насыщенность.

Яркость тона отраженного света зависит в большей степени от близости расположения слоев картона, от угла, под которым эти слои располагаются относительно друг друга. Допускается применение дополнительных материалов: ниток, бумаги различной фактуры и других с целью придания композиции разнообразия и остроты контраста.

В качестве иллюстраций приведены курсовые работы студентов специальности «Искусство интерьера» архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева, а также реализованный проект доцента кафедры архитектурного проектирования и дизайна МГУ им. Н. П. Огарева Р. Р. Кудряева — интерьер ЗАГСа Ленинского района г. Саранска.

Поступила 16.09.08.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

СОЗДАНИЕ ЦЕМЕНТОСБЕРЕГАЮЩИХ КОМПОЗИТОВ

Л. И. Купряшкина

В статье рассмотрены основные принципы создания цементосберегающих технологических приемов, которые позволяют получать бетоны с заранее заданными свойствами. Приведены экспериментальные данные с использованием наполнителей на основе местных сырьевых ресурсов, которые позволяют получать долговечные цементосберегающие композиционные материалы.

Бетоны являются сложными композиционными материалами с конгломератной структурой, заметно влияющей на их свойства. При одинаковом вещественном (фазовом) составе вследствие изменения структуры основные свойства бетона — прочность и долговечность — изменяются в десятки раз. Структура бетонов, как и всех материалов, формируется в результате структурообразования, подчиняющегося определенным закономерностям. Данные процессы можно регулировать.

Многочисленные технологические приемы, с помощью которых управляют сложными процессами структурообразования и получают экономичный материал с оптимальными свойствами, можно условно разделить на три группы: механические, физические, химические.

Для создания экономичных и долговечных материалов, изделий и конструкций на цементном вяжущем предполагается выполнение следующих принципов:

— наполнение цементного вяжущего тонкодисперсными наполнителями;

— модификация вяжущего и наполнителей, применение полифункциональных добавок;

— оптимизация технологических режимов перемешивания бетонной смеси;

— механическая, гидромеханическая, физико-химическая, магнито-стрикционная активация вяжущего;

— оптимизация составов по основным конструкционным показателям качества, в том числе и долговечности.

Изучению влияния наполнителей на структуру и свойства цементного камня и бетона посвящено большое количество работ в нашей стране и за рубежом [1]. Общепризнано, что введение минеральных наполнителей в бетон и растворную смесь является одним из существенных резервов повышения экономичности цементных композиций по стоимости и расходу цемента, а также улучшения их свойств и увеличения срока эксплуатации конструкций.

В качестве активных минеральных наполнителей могут применяться тонкомолотые, доменные гранулированные и отвальные шлаки, золошлаковые отходы тепловых электростанций, диатомиты, трепелы, опоки, в том числе и цеолитосодержащие породы. Наполнение цементного камня до 10—15 % диатомитом Атемарского месторождения приводит к уменьшению средней плотности материала без заметного снижения прочности. При наполнении цементной пылью Алексеевского цементного завода и тонкомолотым известняком наблюдается сокращение сроков схватывания композиций в 1,5—2 раза. Введение до 20 % тонкоизмельченной отработанной формовочной смеси завода «Центролит» приводит к увеличению химической стойкости цементных композитов в 1,8 раза. При наполнении цементного вяжущего цеолитосодержащими породами Атяшевского месторождения прочность материала увеличивается в 1,5 раза. Кроме улучшения

Таблица 1

Выбор оптимальной степени наполнения цементных композиций

Наполнитель	Прочность при сжатии, МПа					
	0	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
Диатомит	24,8	17,8	24,8	16,7	10,1	7,1
Опока	24,8	16,2	20,1	13,8	12,9	12,5
Термолит	24,8	24,4	24,9	23,1	19,8	16,7
ОФС	24,8	26,2	30,1	24,5	17,2	16,0
Цементная пыль	24,8	24,3	26,8	22,7	18,8	16,4
Цеолитосодержащие породы	24,8	24,9	31,8	24,6	20,4	16,8
Белая сажа	24,8	29,9	18,5	16,8	14,6	8,4

свойств исходных материалов, до 15—25 % экономится цемент без понижения прочности (табл. 1).

В тяжелые бетонные смеси для сборных железобетонных конструкций вводят 20—60 кг тонкомолотого доменного гранулированного шлака на 1 м³ смеси при снижении расхода цемента на 10—40 кг / м³, для монолитных конструкций — соответственно 30—70 при 10—40 кг / м³, для монолитных конструкций, укладываемых бетононасосами, — 60—80 при 60—80 кг / м³. Для изготовления растворных смесей количество этого наполнителя составляет 40—90 кг / м³, при этом снижение расхода цемента — 25—60 кг / м³

Существует возможность химической активации наполнителей с помощью различных методов обработки (термической, кислотной, щелочной), что приводит к изменению кристаллизационных особенностей, повышению ионоспособных свойств и созданию новых активных центров (табл. 2).

При обработке наполнителя — цеолитосодержащих пород — кислотой происходит изменение каркаса цеолитов, которое проявляется в переходе ионов алюминия из структуры каркаса в раствор без разрушения каркаса. При модификации наполнителей на их поверхность наносятся новые молекулярные группы, что приводит к изменению свойств исходных материалов. Так, при модификации цеолитосодержащих пород серной кислотой прочность повышается в 1,5 раза, при модификации их солью алюминия — в 2,5 раза. Обработка цеолитосодержащих пород различными видами модификаторов приводит к декатионированию (ионному обмену) или деалюминированию (частичному переходу в водородную форму). В клиноптилолите замещаются обменные катионы натрия, кальция, магния на катионы алюминия из раствора модификатора. Химическая модификация наполнителей позволяет улучшать свойства цементных композитов, т. е. повысить прочность и при этом экономить до 30 % цемента. Анализ механизмов контактных взаимодействий в наполненных цементных системах позволяет наметить пути активации наполнителей с целью повышения их структурообразующей роли и экономии цемента.

Процессы перемешивания бетонных смесей в значительной степени определяют структуру и свойства бетона. Для обычного бетона из относительно пластичных бетонных смесей часто используют бетоносмесители свободного гравитационного перемешивания (ТРТ), не пригодные для жестких смесей. Получение бетона повышенной прочности возможно лишь при формировании

Таблица 2

Модификация наполнителей

Химическая добавка	Предел прочности при сжатии (МПа) при замене цемента диатомитом			
	10 %	20 %	30 %	40 %
Диатомит-сырец Отсутствует	16,97	21,77	17,35	12,18
Пентахлорфенолят натрия	18,10	22,43	16,57	12,50
Салициловая кислота	19,45	20,32	19,15	10,20
Метааминобензойная кислота	26,73	28,91	30,32	28,45
Тетраэтиламмоний (хлористый)	18,85	20,53	15,81	11,23
ГКЖ-94	14,35	15,51	13,42	9,68
Оксиэтилированный элкифенол	24,32	27,19	25,20	21,90
Цеолитосодержащие породы Отсутствует	20,41	29,45	28,74	21,43
$Al_2(SO)_3$ (2 %)	21,34	46,21	31,56	24,83
H_2SO_4 (1 %)	34,43	30,23	40,68	28,75

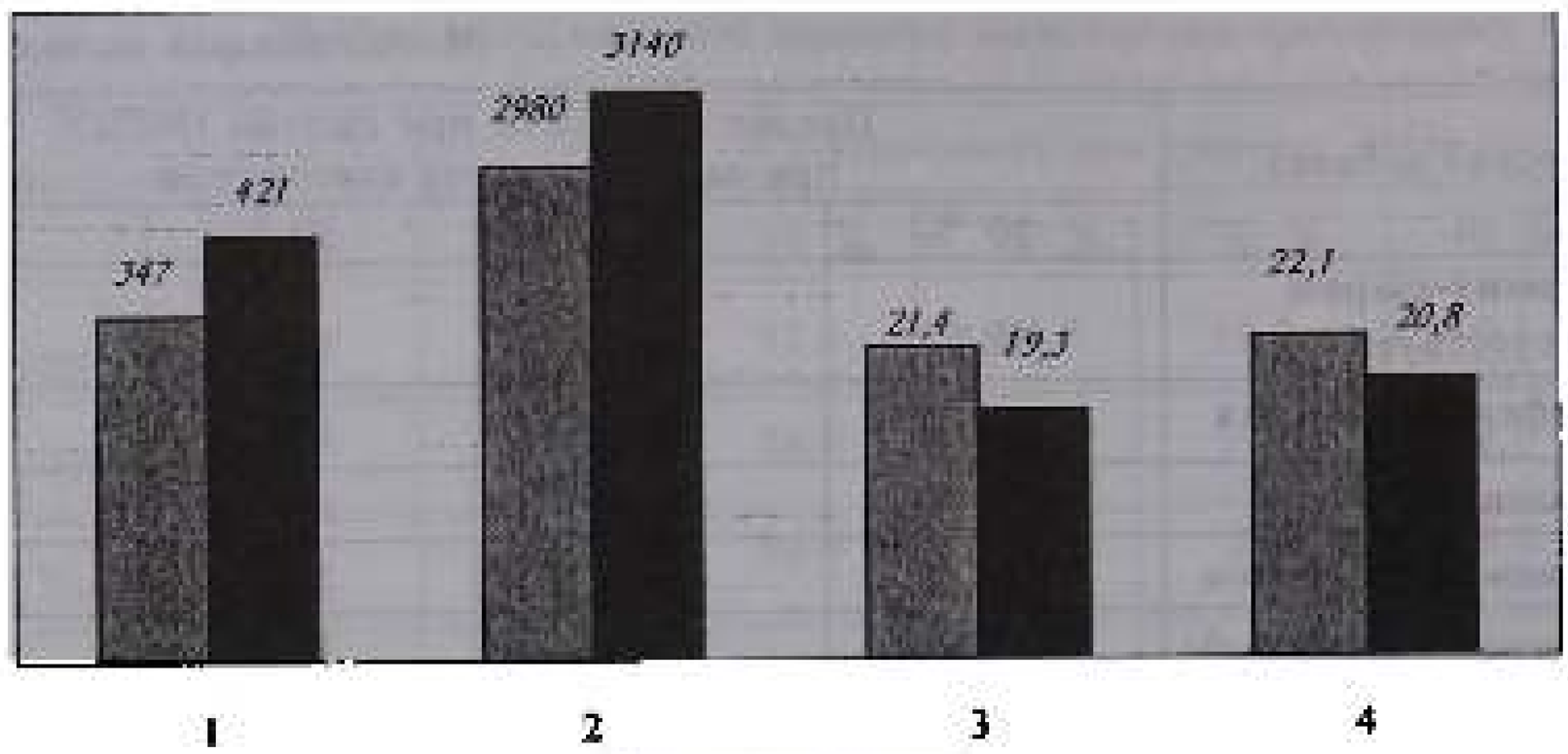
контактных зон высокого качества, а это достигается лишь в бетоносмесителях принудительного действия (ИРТ). Последние обеспечивают высокую однородность смесей, хорошее их перемешивание — втирание цементного теста в поверхность заполнителя и формирование однородной контактной зоны. Поэтому, кроме химической активации наполнителей, возможна гидромеханическая активация, которая подразумевает использование скоростных смесителей турбулентного типа со скоростью вращения 600 об/мин (ИРТ) [3].

Экспериментально установлено, что увеличение скорости перемешивания в 10 раз (с 60 до 600 об/мин) повышает предел прочности материала на 30—40 % и приводит к экономии цемента. Положительный эффект сохраняется и после выдерживания в агрессивных средах. Несмотря на значительное повышение прочности материала, изготовленного при интенсивном перемешивании (ИРТ), общие закономерности деструкции под воздействием агрессивных сред сохраняются. Однако коэффициент химической стойкости у материалов, наполненных диатомитом, в 1,5 раза выше при активации; при наполнении отходами формовочной смеси — в 1,8 раза. Также улучшаются и другие свойства: увеличивается плотность и однородность, возрастает микротвердость структуры (рис.).

Анализ экспериментальных данных позволил установить, что длительность перемешивания влияет на эффект активации. Для каждого вида наполнителя существует определенный режим перемешивания. Согласно полученным данным для отходов формовочной смеси продолжительность составляет 180 с, а для диатомита достаточно 120 с (табл. 3).

Как известно, частицы в суспензии могут образовывать агрегаты, которые в свою очередь могут разрушаться при гидродинамическом взаимодействии частиц в растворе. Распределение сил зависит от: 1) расположения частиц; 2) градиента скорости несущей жидкости; 3) размеров частиц; 4) вязкости смеси. Поэтому при перемешивании возникают различные режимы приготовления (скорость, длительность, степень наполнения и дисперсность). Если цель перемешивания — гидроактивация наполненного вяжущего, повышение однородности структуры, то необходим оптимальный режим приготовления смеси.

Изменение концентрации агрегатов описывается кинетическим уравнением, предложенным Смолуховским, где первые два слагаемых описывают изменение количества агрегатов, состоящих из частиц, только за счет увеличения количества частиц в агрегате; вторые два описывают изменение количества агрегатов за счет разрушения более крупных агрегатов. Рассмотрим мо-



Рисунок

Характеристики цементных композиций, наполненных цеолитсодержащими породами, приготовленных различными технологическими приемами: 1 — микротвердость, Н/см²; 2 — плотность, кг/м³; 3 — водопоглощение, %;

дель суспензии, частицы которой могут образовывать агрегаты. Некоторые агрегаты под действием вязких сил, возникающих при гидродинамическом взаимодействии агрегатов с жидкостью, будут разрушаться. Установлено, что сила, разрушающая агрегаты, пропорциональна градиенту скорости движения жидкости. Это дает возможность по величине градиента скорости рассчитать оптимальные режимы приготовления смеси (скорость и длительность перемешивания) и технологические параметры турбулентного активатора [2].

Механическая активация с использованием смесителей турбулентного типа позволяет управлять процессами формирования микро-макроструктуры бетона. При этом появляется возможность производить перемешивание в заданном скоростном режиме и активировать поверхность наполнителей. Однако при эксплуатации смесителя — активатора турбулентного типа на производстве было выявлено, что он нуждается в модернизации, так как первоначальная конструкция имеет ряд недостатков: 1) высокая интенсивность перемешивания приводит к забрызгиванию течек, особенно цементной, и к необходимости их частой чистки; 2) в процессе работы смесителя происходит налипание цементного теста на внутреннюю поверхность корпуса смесителя и части рабочего органа; 3) при очень длительном перемешивании происходит водоотделение смеси.

Для устранения этих существенных недостатков и дополнительной активации наполнителя предложены новейшие технологические приемы, например, использование магнитострикционных преобразователей [4]. Магнитострикционное явление открыто сравнительно недавно и состоит в изменении формы и тел

Таблица 3

Влияние времени перемешивания наполненных цементных композитов на их прочность

Наполнитель	Прочность при сжатии, МПа			
	60 с	120 с	180 с	240 с
ОФС	28,3	36,8	39,9	38,4
Диатомит	26,2	31,0	29,5	28,2

частиц под действием электромагнитных полей. При этом возникают звуковые и ультразвуковые колебания, мощность которых может достичь десятков и сотен ватт или даже нескольких киловатт, а интенсивность — десятков и сотен ватт на квадратный сантиметр.

Ультразвуковые колебания высокой интенсивности, в отличие от колебаний малой интенсивности, характеризуются эффектами второго порядка: акустическим ветром и радиационным давлением. При этом частицы жидкости совершают колебательные движения, с увеличением частоты колебаний максимальная скорость движения частиц будет увеличиваться. При распространении акустических колебаний в жидкости создается добавочное давление к среднему давлению жидкости, изменяющееся также по синусоидальному закону.

Излучатель колебаний не только приводит прилегающие к нему частицы среды в колебательное движение относительно их положения равновесия, но и вызывает постоянное их смещение, так называемый звуковой веер. Это проявляется в виде сильных гидродинамических течений, приводящих к интенсивному перемешиванию жидкой среды. Одновременно изменяя мощность излучателей, т. е. уровень интенсивности, можно добиться механодеструкции используемых наполнителей — дополнительного измельчения и возникновение химических реакций, активирующих процессы гидратации наполненного цементного теста.

Микротвердость образцов, наполненных диатомитом, подвергавшихся дополнительной магнитострикционной активации, в среднем достигает от 250 до 300 кг / мм, при использовании в качестве наполнителя цеолитосодержащих пород — 350—400 кг / мм, полученных в обычном режиме — всего 100—150 кг / мм (для диатомита) и 150—200 кг / мм (для цеолитосодержащих пород). Анализ микротвердости по поверхности сечения четко показывает, что количество кристаллизационных центров, имеющих высокое значение микротвердости, намного больше в цементных композициях, подвергавшихся магнитострикционной обработке. Необходимо отметить, что для каждого цементного композита существует оптимальный режим обработки, который зависит от вида используемого наполнителя.

Таким образом, положительный результат заключается в увеличении прочности наполненного цементного вяжущего за счет дополнительного измельчения наполнителя, его активации, более равномерного распределения по объему и улучшению структуры. При этом можно экономить до 30 % цемента. Одновременно уменьшается толщина слоя налипания смеси на стенках смесителя-активатора, снижаются потери цементного вяжущего на производстве.

Из вышеизложенного можно сделать вывод: добиться экономии цемента можно путем введения минеральных наполнителей, а также путем их модификации (химической, механической и физико-механической). При этом свойства цементного связующего не ухудшаются.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Баженов Ю. М.** Совершенствование технологии и свойств бетона — важнейший резерв экономики ресурсов // Цемент. — 1983. — №5. — С. 7—8.

2. **Куприяшкина Л. И.** Оптимизация режимов перемешивания и степени наполнения с целью экономии цементов и энергоресурсов /Л. И. Куприяшкина, С. И. Мартынов, В. П. Селяев // Ресурсо- и энергосбережение как мотивация творчества в архитектурно-строительном процессе. Труды годичного собрания РААСН 2003 г. — Казань : КГАСА, 2003. — С. 372—376.

3. **Селяев В. П.** Турбулентная активация цементного вяжущего / В. П. Селяев, Л. И. Куприяшкина, И. Н. Нагорняк // Проблемы в проектировании объектов АПК России : сб. науч. тр./ ФГУП «НИПИгипропромсельстрой». — Саратов, 2005. — С. 151—160.

4. **Селяев В. П.** Устройство для приготовления растворов. Патент на полезную модель 56850 B28C 5/16 / В. П. Селяев, Л. И. Куприяшкина, М. А. Ваганов ; Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации, 2006.

Поступила 16.09.06.

ПОЛУЧЕНИЕ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ПОРИЗОВАННОМ СТЕКЛООБРАЗНОМ СВЯЗУЮЩЕМ

С. А. Коротаев, В. Т. Ерофеев

Дается теоретическое обоснование получения поризованного стеклообразного связующего для легких бетонов. Приводятся технология получения разработанного материала, результаты ИК-спектроскопических и микроскопических исследований связующего, физико-механические характеристики полученных образцов материала.

Отличительными особенностями ячеистого стекла в ряду других строительных материалов пористой структуры, обладающих низкой теплопроводностью, являются его высокая прочность и экологическая чистота. К достоинствам ячеистого стекла можно также отнести его низкую сорбционную влажность. Поэтому, на наш взгляд, представляет интерес разработка легких бетонов, в которых цементное связующее заменено на поризованное стеклообразное, позволяющее расширить физико-технические свойства и область использования данного класса материалов.

В связи с этим целью настоящей работы являлась разработка составов масс и технологических приемов получения материала с использованием крупного пористого заполнителя на поризованном стеклообразном связующем, формирующемся в процессе высокотемпературной обработки (обжига).

Согласно [4], известны две технологические схемы получения ячеистого стекла (пеностекла). Первая схема основана на нагревании тонкоизмельченной смеси стекла и газообразователя, засыпанных в жаростойкую металлическую форму, до температуры размягчения стекла и образования газов, при которой размягченное стекло вспенивается. Вторая схема, так называемый холодный способ, заключается в приготовлении ячеистой массы из суспензии стекла при смешивании ее с пенообразователем с последующими сушкой и обжигом в печи спекания при температуре 650—700 °С.

Использование описанных технологических приемов для получения легких бетонов с пористыми заполнителями на ячеистостеклольном связующем является проблематичным в силу следующих обстоятельств. Особенностью первой технологической схемы является необходимость распиловки вспененной в жаростойких металлических формах в процессе обжига стеклмассы на блоки правильной формы. Включение в такой материал зерен заполнителя отрицательно скажется на возможности его последующей механической обработки. Использование холодного способа (второй технологической схемы) предполагает смешивание заполнителя с приготовленной ячеистой массой. В процессе смешивания будет происходить расслаивание смеси и формирование неоднородной структуры материала. Необходимо также отметить сложность получения стабильной структуры ячеистой массы по холодному способу на стадиях ее приготовления и сушки.

К факторам, удорожающим производство ячеистого стекла, следует отнести необходимость использования жаростойких металлических форм и использование стекол определенного химического состава, вспучивающихся при обжиге.

В данной работе исходили из условия разработки составов масс, позволяющих исключить из технологического процесса необходимость использования жаростойких металлических форм. Это возможно при условии, когда изделие-сырец, полученное на предобжиговой стадии подготовки, будет иметь прочность, достаточную для сохранения его целостности при перемещении к обжиговому агрегату, и обладать устойчивостью к деформациям при обжиге.

Одним из способов повышения прочности материала на стадии формования является введение в состав формуемой массы натриевого жидкого стекла. Что касается вопроса получения материалов с крупным заполнителем, то можно получить такой материал, используя в качестве связующего только жидкое стекло. Следует, однако, учитывать, что жидкостекольное связующее приобретает водостойкость лишь при температурной обработке выше 900 °С [2]. Собственная же огнеупорность жидкого стекла составляет около 800 °С, и термообработка при более высокой температуре будет способствовать стеканию связующего с поверхности плотного заполнителя или его впитыванию поверхностью пористого заполнителя. В обоих случаях это отрицательно скажется на формировании связующего слоя достаточной толщины на поверхности зерен заполнителя, увеличит деформативность обжигаемых изделий и сделает невозможным проведение обжига такого материала без жаростойких форм.

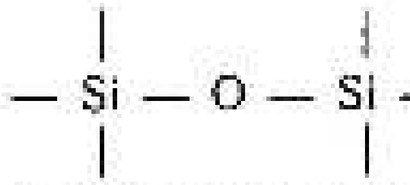
В качестве альтернативы использования жидкостекольного связующего, обладающего отмеченными недостатками, нами предложено использовать комплексное связующее из натриевого жидкого стекла и высокотемпературного натрово-известково-силикатного стеклообразного связующего (стекла). В таком комплексном связующем жидкостекольный компонент обеспечивает прочность изделия-сырца на предобжиговой стадии подготовки и участвует в формировании высокотемпературного связующего при последующем обжиге. Роль высокотемпературного натрово-известково-силикатного связующего заключается в обеспечении устойчивости материала к деформациям и формировании прочной поризованной структуры связующего при обжиге и получении в итоге водостойкого материала.

В качестве легкого заполнителя в разрабатываемом материале использовали керамзитовый гравий различных фракций с размером зерен от 5 до 20 мм. Формование образцов осуществлялось двумя способами. Первый способ предполагал использование каркасной технологии, применяемой при изготовлении строительных материалов, и заключался в предварительном склеивании в металлической форме зерен крупного заполнителя в каркас жидкостекольным связующим, приобретающим прочность в процессе высушивания, с последующей пропиткой извлеченного из формы отвержденного каркаса суспензией тонкоизмельченного стекла и сушкой пропитанного каркаса (рис. 1). Вязкость пропитывающей суспензии стекла, диаметр пор каркаса и плотность укладки заполнителя являются факторами, оказывающими определяющее влияние на процесс пропитки. В [1] приводятся данные, что в случае гексагональной упаковки заполнителя время пропитки увеличивается в 2 и 4 раза по сравнению с каркасом соответственно с хаотичной и с кубической укладкой. Суспензия должна также обладать минимальной склонностью к расслаиваемости из-за оседания частиц стекла. Предельный размер частиц дисперсной фазы, не оседающей в дисперсионной среде, определяется по формуле: $d = bk\Theta/(\gamma_д - \gamma_с)$, где Θ — напряжение сдвига; $\gamma_д$ и $\gamma_с$ — плотность соответственно дисперсной фазы и дисперсионной среды; k — коэффициент, зависящий от размера частиц; при диаметре частицы до 2 мк k равен 2,5—3,0 [2].

Второй способ формования заключался в непосредственном введении жидкостекольного связующего в суспензию стекла, перемешивании полученного комплексного связующего с заполнителем и последующей укладке полученной смеси в металлическую форму для проведения сушки. После достижения материалом в процессе сушки достаточной прочности образцы извлекались из формы и их досушивание проводилось без формы.

Использование первого способа формования позволяет получать изделия крупнопористой структуры, второй способ предпочтителен при получении изделий сплошной (монолитной) структуры.

В предлагаемой технологической схеме приобретение отформованным изделием повышенной прочности обеспечивается отверждением жидкого стекла в процессе его сушки при температурах, не превышающих 100 °С. Отвердители в этом случае не используются, что благоприятно сказывается на экологической безопасности получаемого материала. Отверждение жидкостекольного связующего происходит за счет полимеризации кремнийсодержащих химических связок при удалении гидроксильно-водородных групп с образованием кремнийполимерного каркаса объемной сетчатой структуры с ячейками типа



Повышенная прочность материала, достигаемая на стадии сушки, позволяет формовать изделия увеличенных размеров и перемещать их в обжиговый агрегат без формы.

В процессе формования и сушки материала происходит обводнение структуры частиц натрово-известково-силикатного стекла. Механизм формирования обводненной структуры будет несколько различен для первого и второго способов формования. Однако и в том и в другом случае наиболее вероятно, что в основе этого механизма лежит процесс взаимодействия жидкостекольного связующего с суспензией натрово-известково-силикатного стекла в процессе термообработки. При использовании каркасной технологии (первый способ) в гидротермальных условиях сушки при температуре до 100 °С при твердении жидкого стекла, которым склеиваются зерна заполнителя, возникают пересыщенные метастабильные растворы с последующим переходом гидратных форм силикатов натрия при испарении влаги в стекловидное состояние [3]. При покрытии поверхности пор склеенного жидким стеклом и отвержденного каркаса водной суспензией стекла и последующей сушке при температуре, не превышающей 100 °С, в процессе взаимодействия слоя суспензии стекла со стеклообразной жидко-стекольной связкой будет происходить растворение последней. Кинетика растворения гидратированного натриевого стекла, практически не имеющего сплошного пространственного каркаса, определяется силикатным модулем стекла и температурой, а также введенными в него добавками. С повышением температуры увеличивается растворимость всех кристаллогидратов. Процесс растворения сопровождается переходом в раствор катионов натрия за счет сольватационного взаимодействия. Навстречу катионам щелочного металла в фазу стекла диффундируют молекулы воды, часть которых вступает в реакцию гидролиза с анионным каркасом стекла по реакции:

$$=Si - O^- + H_2O \rightarrow =Si - OH + OH^-.$$

Образующиеся гидроксильные ионы, обладающие высокой подвижностью, будут покидать реакционную зону на границе раздела фаз и переходить в раствор. Также способны переходить в раствор высвобождающиеся мономерные и полимерные анионы, существующие в стекле. Для катионов скорость перехода в раствор выше, чем для анионов. Следствием этого является создание условий для увеличения концентрации гидратированного кремнезема на границе раздела фаз. При повышении температуры в процессе высушивание материала и понижении pH возможны полимеризация гидратированного кремнезема и образование пленки геля кремниевой кислоты. На определенном этапе сушки образующиеся вязкие гелевые слои способны замедлять процесс растворения стеклообразной жидкостекольной связки каркаса, что важно с точки зрения сохранения связкой определенной прочности при проведении процесса сушки материала без формы. Одновременно с процессом взаимодействия растворной части суспензии стекла с жидкостекольным клеем каркаса будут происходить процессы выщелачивания и обводнения исходной структуры стекла частиц суспензии, механизм которых основан на взаимодействии водных растворов щелочей с кремнеземом. Обводнение стекла происходит при его гидратации и гидролизе и сопровождается адсорбцией гидратированных катионов щелочных металлов на активных участках поверхности кремнезема, возникающих при помоле стекла, с последующей деполимеризацией кремнезема вследствие гидролиза связей ≡Si — O — Si≡ с образованием силанольных групп ≡Si — OH. Гидратированный кремнезем способен переноситься при сушке к открытой верхней поверхности материала и при увеличении его концентрации в процессе сушки образовывать плотную эластичную пленку геля за счет полимеризации кремнекислоты. По мере удаления свободной воды из высушиваемого материала в его объеме будут образовываться гидросиликаты натрия из продуктов деструкции клеевой связки каркаса и частиц стекла суспензии. Оставшаяся после сушки свободная вода образует водородные связи с силанольной водой. При формовании изделий по второму способу обводнение исходной структуры стекла частиц суспензии основан на взаимодействии водных растворов щелочей с кремнеземом, механизм которого рассмотрен выше.

Рисунки к статье С. А. Коротаева и В. Т. Ерофеева
«Получение легких бетонов на пористом стеклообразном связующем»

а)



б)



Рисунок 1

Вид образца крупнопористого материала (куб с ребром 100 мм) на последовательных стадиях формования:
а) каркас из керамзитового гравия, склеенный жидким стеклом;
б) тот же каркас, пропитанный суспензией стекла

а)



б)



Рисунок 4

Вид фрагмента материала после обжига без вспучивания (а)
и со вспучившимся (б) стеклообразного связующего

а)



б)



Рисунок 5

Образец материала двухслойного поперечного сечения с керамзитом фракции 5—10 мм (насыпная плотность 530 кг/м³); размеры 84×84, 5×40 мм: а) вид лицевой поверхности; б) вид сбоку: нижний слой — крупнопористый, верхний слой — лицевой сплошной

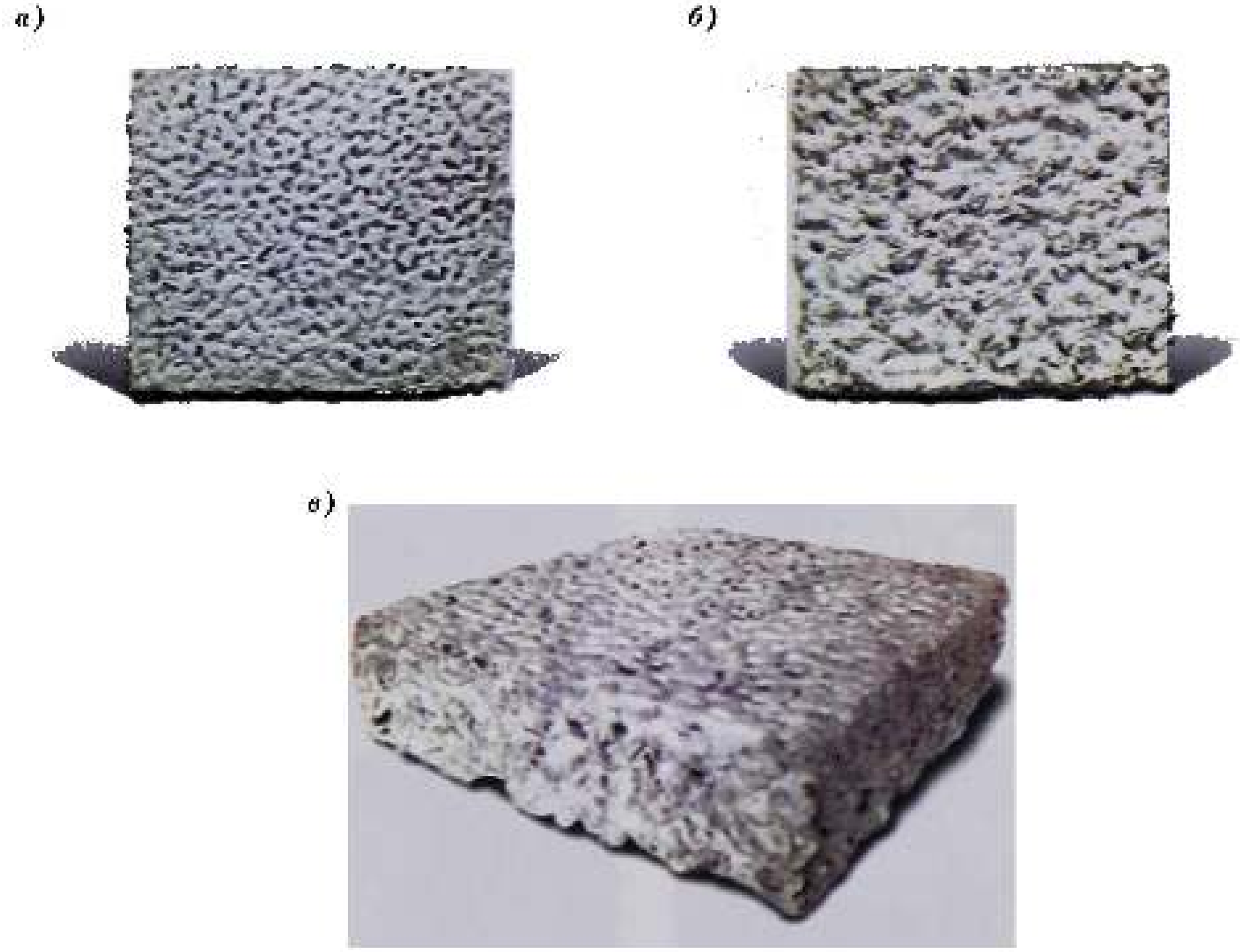


Рисунок 6

Образец материала монолитной структуры с керамзитом фракции 5—10 мм (насыпная плотность 530 кг/м³); размеры 138×160×40 мм: а) вид лицевой поверхности; б) вид поверхности, прилегающей к растворной прослойке, с выступающими зернами заполнителя; в) общий вид



Рисунок 7

Образец материала крупнопористой структуры с керамзитом фракции 10—20 мм (насыпная плотность 780 кг/м³); размеры 163×144×80 мм



Рисунок 8

Вид материала крупнопористой структуры (керамзит фракции 10—20 мм) со сформированными на нижней и верхней гранях сплошными слоями из цементно-песчаного раствора для испытания на прочность при сжатии

Последующая термообработка отформованного и высушенного материала при температуре выше 100 °С будет сопровождаться термическими превращениями образовавшихся гидросиликатов натрия и обводненной структуры стеклопорошка. По данным [3], удаление воды из гидросиликатов натрия может происходить в широком диапазоне температур вплоть до 300—350 °С. В процессе подъема температуры до 800 °С разрушаются связи кремнекислоты и полимеризуются кремнекислородные тетраэдры. При дегидратации обводненной структуры стеклопорошка в пределах температур до 400 °С удаляется в основном молекулярная сорбционная вода и остается неразрушенным поверхностный гидроксильный покров стекла. При дальнейшем повышении температуры выделение воды происходит за счет дегидратации поверхности и удаления химически связанной воды. В процессе термообработки материала при температуре выше 700 °С образующаяся из компонентов комплексного связующего эвтектическая смесь при плавлении способна обеспечить накопление значительного количества расплава, обладающего необходимой пиропластической подвижностью, и образование в объеме обжигаемой связки замкнутых пор. Созданию условий для образования эвтектической смеси системы Na_2O — CaO — SiO_2 способствуют экстракция ионов натрия из жидкостекольного связующего в поверхностные слои частиц щелочe-известково-силикатного стекла и разложение силикатов натрия при нагревании с выделением аморфного кремнезема. Примерно в этом же температурном интервале вода в виде пара выделяется из обводненного (гидратированного) стекла. При совпадении процессов газовыделения и образования в расплаве замкнутых пор создаются условия для вспучивания связующего при резком повышении давления пара в порах. В результате формируется безусадочная поризованная стеклообразная матрица, связывающая в единое целое зерна крупного заполнителя. В свою очередь вспучивание связующего компенсирует его усадку, вызванную спеканием материала при обжиге, что предотвращает образование усадочных трещин при взаимодействии связующего с жестким каркасом из зерен крупного заполнителя.

Присутствие воды на всех стадиях термообработки подтверждается ИК-спектроскопическими исследованиями. На полученном ИК-спектре поглощения отвержденной при сушке жидкостекольной клеевой связки каркаса (рис. 2) фиксируется область 2 750—3 750 $см^{-1}$, связанная с валентными колебаниями О — Н связи в оксигидрильных группах O_mH_n [5]. На ИК-спектре комплексного связующего (рис. 3) также фиксируются широкая полоса поглощения связи О — Н в интервале 3 300—3 600 $см^{-1}$, и кроме того, поглощение при 1 446 $см^{-1}$, связанное с присутствием карбонат-ионов. После высокотемпературной обработки связующего интенсивность полос поглощения, связанная с валентными колебаниями связи О—Н, уменьшается (рис. 3), а полоса поглощения карбонат-ионов полностью исчезает. Наличие поглощения в области 3 300—3 600 $см^{-1}$ в связующем после обжига свидетельствует о том, что вспучивающим агентом являются пары воды.

Микроскопические исследования структуры поризованного стеклообразного связующего, формирующегося в процессе обжига, выявили наличие пор диаметром 0,02—0,50 мм.

Проведенные обжиги образцов показали, что реологические характеристики предлагаемо-

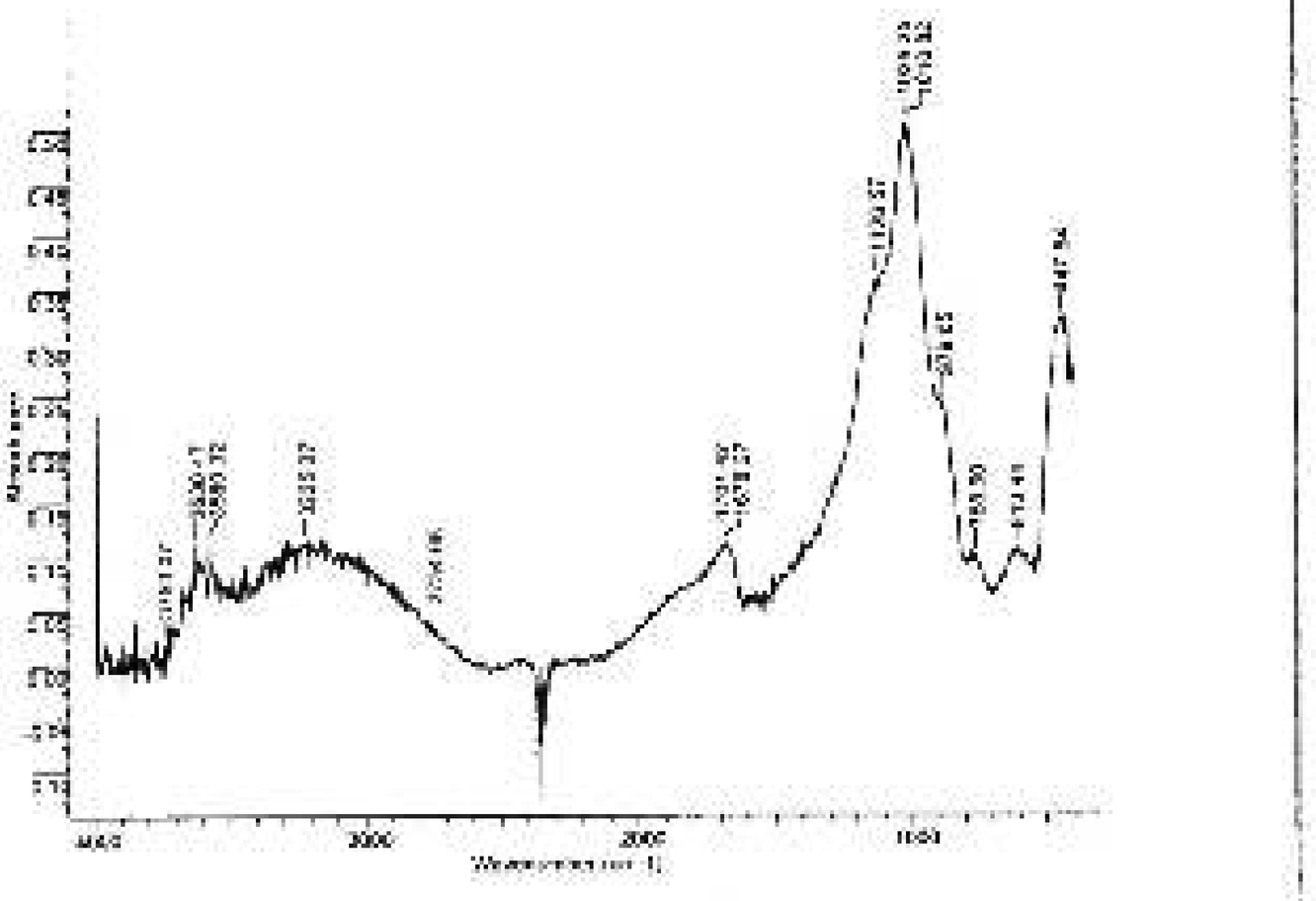


Рисунок 2

ИК-спектр поглощения жидкостекольной связки каркаса после сушки (в таблетке KBr)

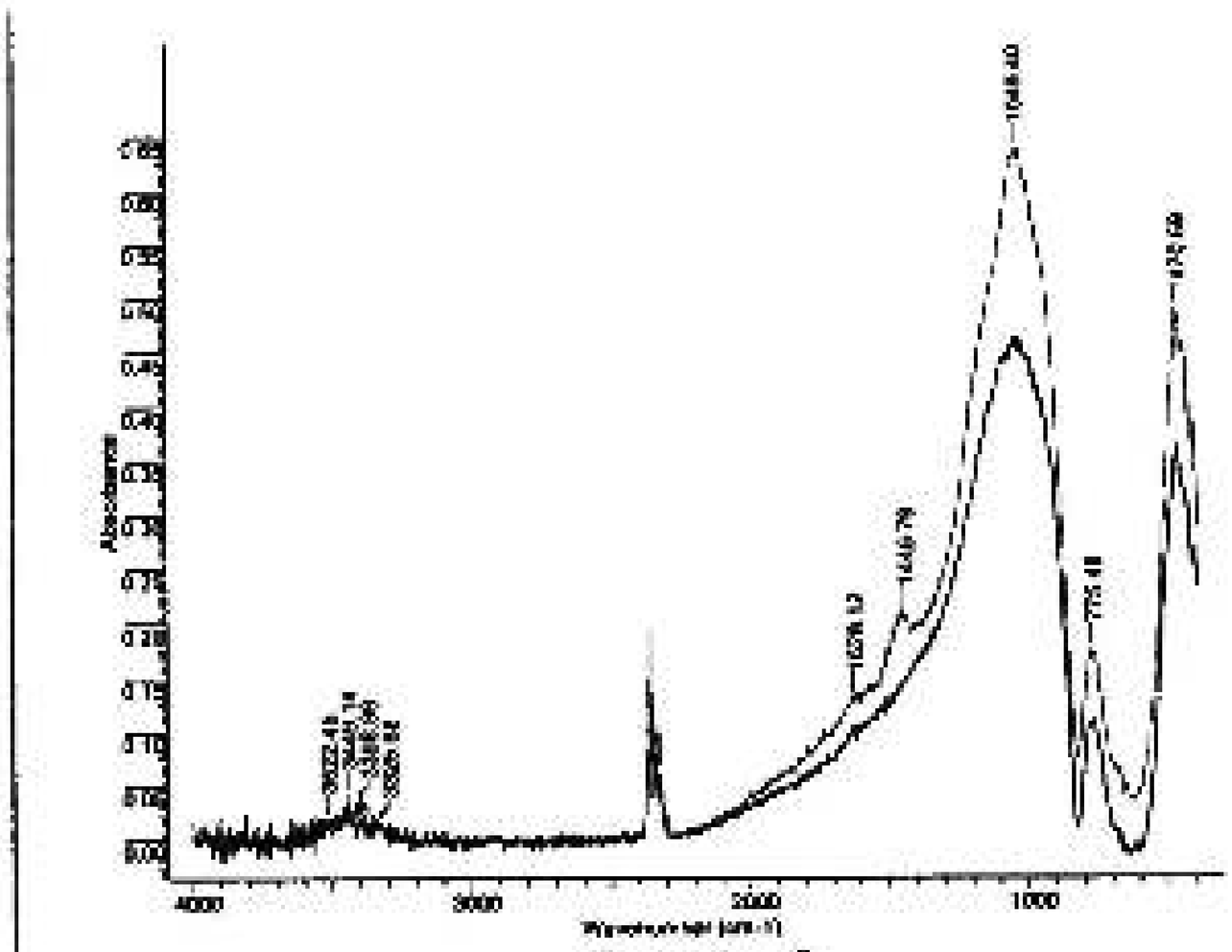


Рисунок 3

ИК-спектр поглощения комплексного связующего после сушки (верхняя кривая) и обжига (нижняя кривая) (в таблетке KBr)

го комплексного связующего при рабочих температурах обжига обеспечивают устойчивость изделий к деформациям и сохранение ими правильной геометрической формы, что позволяет производить обжиг изделий без жаростойких стальных форм, используя лишь керамические или жаростойкие металлические поддоны с ровной поверхностью.

Как было отмечено выше, вспучивание связующего при обжиге делает его безусадочным и позволяет устранить усадочные трещины в материале с контактной укладкой заполнителя. Эффект устранения усадочных трещин хорошо виден на рис. 4.

На рис. 5, 6 и 7 показан вид полученных образцов из разработанного материала соответственно двухслойного поперечного сечения, монолитной и крупнопористой структуры. В качестве заполнителя в образцах использовался керамзитовый гравий. При изготовлении образца двухслойного поперечного сечения верхний лицевой (монолитный) слой формировался путем заполнения пор каркаса с лицевой поверхности на небольшую глубину концентрированной суспензией стекла. Физико-механические характеристики полученных образцов изменяются в зависимости от плотности используемого заполнителя, плотности укладки заполнителя при формовании изделия и степени заполнения объема пор между зернами заполнителя связующим. Объем крупных пор в полученном материале крупнопористой структуры составляет около 30 %. Свойства полученных образцов характеризуются следующими показателями. Плотность — 710—846 кг/м^3; водопоглощение, определенное после кипячения образцов в воде в течение 30 мин. — 10,6—24,2 %; теплопроводность образца двухслойного поперечного сечения (см. рис. 5) — 0,16 Вт/(м °С). Материал полученных образцов обладает водостойкостью и негигроскопичен.

Прочность на сжатие была определена на изготовленных образцах кубической формы (рис. 8) с размером ребра 100 мм крупнопористой структуры плотностью 615—625 кг/м^3 с объемом крупных пор около 30 % и составила 1,3—1,5 МПа.

Таким образом, результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований подтвердили возможность получения легких бетонов на поризованном стеклообразном связующем, формирование которого происходит при термической обработке в результате выделения воды в виде пара из обводненного натрово-известково-силикатного стекла и вспучивания образующегося расплава. Вязкость связующего обеспечивает деформативную устойчивость изделия при обжиге, что позволяет проводить обжиг изделий без использования жаростойких форм. Отсутствие усадки связующего вследствие его вспучивания предотвращает образование усадочных трещин при взаимодействии связующего с зернами крупного заполнителя и обеспечивает прочную адгезию связующего к поверхности зерен заполнителя из керамзитового гравия.

Полученный материал характеризуется пожаробезопасностью, экологической чистотой как на стадии изготовления, так и при эксплуатации и может быть использован в качестве теплоизоляционного или конструкционно-теплоизоляционного материала в ограждающих конструкциях зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ерофеев В. Т.** Каркасные строительные композиты : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. Т. Ерофеев. — М., 1993. — 52 с.

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

3. **Корнеев В. И.** Производство и применение растворимого стекла : жидкое стекло / В. И. Корнеев, В. В. Данилов. — Л. : Стройиздат. Ленингр. отд-ние. 1991. — 176 с.

4. Стекло : справочник / под. ред. Н. М. Павлушкина. — М. : Стройиздат, 1973. — 487 с.

5. **Юхневич Г. В.** Инфракрасная спектроскопия воды / Г. В. Юхневич. — М. : Наука, 1973. — 208 с.

Поступила 16.10.09.

КОМПОЗИТЫ КОНТАКТНО-КОНДЕНСАЦИОННОГО ТВЕРДЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В. Т. Ерофеев, С. В. Казначеев, А. Д. Богатов

В статье приводятся результаты исследования физико-механических свойств и стойкости в условиях воздействия химических и биологических агрессивных сред композитов на основе сырьевых ресурсов РМ, изготовленных по технологии контактно-конденсационного твердения. Установлены закономерности изменения прочностных свойств композитов на основе органических и неорганических связующих. Рассмотрены особенности структурообразования в процессе твердения и деградации. Исследовано воздействие различных модифицирующих добавок. Получены строительные материалы с максимально плотной упаковкой частиц, стойкие к воздействию различных агрессивных сред.

Одной из важнейших проблем современного строительного материаловедения является получение долговечных композиционных материалов на основе дешевого, доступного, часто невостребованного местного сырья, к которому можно отнести как природные ресурсы, так и отходы производственных предприятий. Их использование позволяет существенно расширить сырьевую базу и снизить себестоимость получаемой продукции как за счет невысокой стоимости этих ресурсов, так и в результате значительного уменьшения транспортных расходов.

Нередко отходы производства, являясь достаточно эффективными и часто уже подготовленными компонентами, которые можно широко использовать при получении строительных композитов, оказываются невостребованными и попадают на свалки, способствуя быстрому их заполнению, что в свою очередь приводит к необходимости постоянного отвода под них новых земель. Это обусловливает то, что проблема утилизации отходов в современных условиях с каждым годом приобретает все более актуальное значение.

Среди всего многообразия техногенных отходов, которые в больших количествах сбрасываются в отвалы, значительная часть приходится на бой стекла и шлак. Между тем они являются эффективными вторичными ресурсами, которые могут быть использованы в строительной индустрии при получении связующих, бетонов и изделий на их основе.

Используемые в настоящее время способы изготовления строительных материалов с применением этих ресурсов базируются на технологиях, предусматривающих спекание сырья при высоких температурах, его обработку в автоклавах и т. д. С учетом высокой энергоемкости, а, соответственно, и стоимос-

ти этих процессов, наиболее перспективным направлением решения проблемы получения широкой номенклатуры эффективных композиционных строительных материалов и изделий на основе местных природных ресурсов и отходов производства, на наш взгляд, является использование технологий, основанных на принципах контактно-конденсационного твердения.

Эта технология позволяет получать композиционные материалы требуемой для строительных целей прочности, достигаемой доступными приемами, без значительных энергетических и трудовых затрат. Ее применение способствует значительному сокращению технологического цикла и получению композиционных материалов с высокой «мгновенной» прочностью. Технологические процессы могут быть осуществлены на традиционных промышленных линиях по производству композиционных материалов, что дает возможность получить значительный экономический эффект при внедрении таких технологий в производство [1; 2].

В момент приложения высокого внешнего давления в образцах создаются стесненные условия, и процессы структурообразования протекают качественно по-другому. При непрерывном повышении давления структурообразование, протекающее в нормальных условиях иногда в течение нескольких часов, завершается за цикл прессования. В ходе прессования фиксируется отжатие части поверхностной воды, которая регулирует количество межслоевой воды. Происходят процессы, обусловленные фазовыми превращениями и перестройкой пористой структуры [2].

По сравнению с традиционной автоклавной технологией производства силикатных изделий контактная технология определяет широкий спектр независимых управляемых технологических воздействий (степень пресыщения раствора, время выращивания кристаллов, оптимальный размер новообразований, параметры кинетики растворения и кристаллизации, время прессования и т. д.) для изменения выходных характеристик исследуемой системы [3].

Нами был рассмотрен отечественный и зарубежный опыт применения технологии получения композиционных материалов контактно-конденсационного твердения: силикатных прессованных изделий, разработанных В. Д. Глуховским и П. В. Кривенко; стеновых и облицовочных материалов на основе местного сырья, разработанных Т. А. Арбузовой и В. Ю. Суховым, и т. д. [2; 4].

Результаты анализа сведений о технологиях производства строительных композитов на основе местных природных ресурсов и отходов промышленности свидетельствуют о том, что их широкое применение сдерживается из-за энерго- и трудоемкости операций, характерных для автоклавных и других процессов. В этой связи обоснована перспективность технологии получения композиционных строительных материалов контактно-конденсационного твердения. В этой связи исследования, направленные на разработку технологии получения, оптимизацию составов и изучение свойств долговечных строительных материалов и изделий, изготовленных с применением боя стекла и других отходов на основе принципов контактно-конденсационного твердения, являются актуальными.

С целью экспериментального исследования процессов, происходящих в исследуемых композитах, в ходе их твердения были изучены процессы структурообразования материалов на уровне макроструктуры с использованием метода рентгеноструктурного анализа. Исследовались материалы, изготовленные на цементном вяжущем и связующем на основе боя стекла, для сравнения рассматривались как ненаполненные составы, так и композиции, наполненные шлаком. Образцы изготовлялись по технологиям виброуплотнения и контактно-конденсационного твердения путем двустороннего прессования в течение 10 с давлением в 100 МПа. Часть образцов, изготовленных по технологии контактно-конденсационного твердения, выдерживалась в течение одного месяца в естественных условиях с целью изучения процессов структурообразования в ходе их твердения.

В материалах на основе цементного связующего, изготовленных по технологии как виброуплотнения, так и контактно-конденсационного твердения, среди минералов преобладают алит и белит. В прессованных составах, выдержанных в течение одного месяца в естественных условиях, происходит увеличение содержания белита (Ca_3SiO_3 — 75,2 %, Ca_2SiO_4 — 18,2% и Ca_3SiO_5 — 51,2 %,

Ca_2SiO_4 — 44,2 %). Возникают новые фазы, связанные с процессом гидратации.

В цементных композитах, наполненных шлаком, изготовленных по технологии как виброуплотнения, так и контактно-конденсационного твердения, характерно преобладание Ca_3SiO_5, однако в материале контактно-конденсационного твердения на угле 2 θ 29-345° наблюдается новая фаза с межплоскостным расстоянием 3,04. В прессованных составах, выдержанных в течение 1 мес. в естественных условиях, увеличивается содержание минералов Ca_2SiO_4, причем оно превышает содержание алита.

Для материалов на основе стеклощелочного связующего характерно преобладание SiO_2; кроме того, присутствуют $Ca_{54}MgAl_2Si_{16}O_{90}$ и низкоосновные силикаты кальция. В химическом составе существенных изменений не происходит, повышение интенсивности рефлекса 3,35 Å, вероятно, говорит об увеличении количества SiO_2, находящегося в кристаллической фазе. Преобладание SiO_2 характерно и для композитов, выдержанных в течение 1 мес. в естественных условиях.

Одним из эффективных способов снижения пористости материалов является приложение высокого внешнего давления. При их изготовлении это, как правило, ведет к улучшению физико-механических свойств и является целесообразным методом воздействия на другие свойства материалов. Прессование позволяет получить композиционный материал с максимальной упаковкой частиц. Экспериментальные данные свидетельствуют о значительном уменьшении пористости композитов в результате приложения внешнего давления. В зависимости от вида

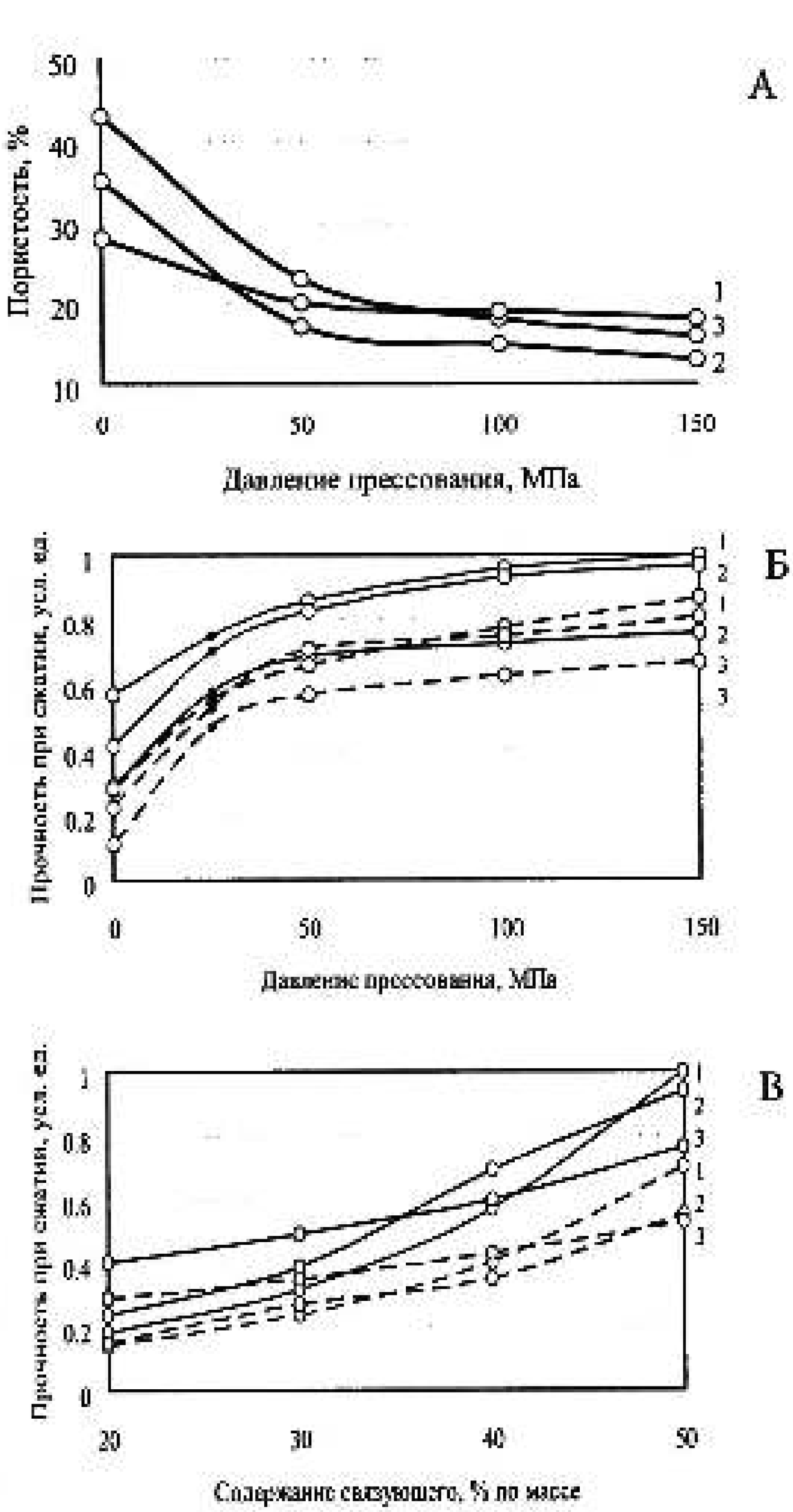


Рисунок 1

Зависимость изменения пористости (А) и прочности (Б, В) цементных композитов от содержания связующего и давления прессования:

1 — составы с кварцевым песком;

2 — то же с маршалитом;

3 — то же с диатомитом.

——— композиты, отвержденные в условиях термовлажностной обработки;

- - - - композиты, отвержденные в естественных условиях

используемых компонентов при увеличении давления прессования от 0 до 200 МПа наблюдалось уменьшение пористости на величину до 70 %. Существенное влияние на изменение пористости и плотности композитов оказывает используемый наполнитель (его вид, дисперсность и т. д.) (рис. 1 *А*).

Прессование позволяет получить композиционные материалы, прочность которых в несколько раз превосходит прочность композитов, полученных по технологии виброуплотнения. В зависимости от вида связующего наполнителя (вида, количественного содержания, дисперсности) и способа отверждения прочность на сжатие композитов контактно-конденсационного твердения, изготовленных при давлении 200 МПа, до 14 раз выше, чем у композитов, полученных по технологии виброуплотнения (рис. 1 *Б*, *В*). При этом происходит значительное сокращение технологического цикла.

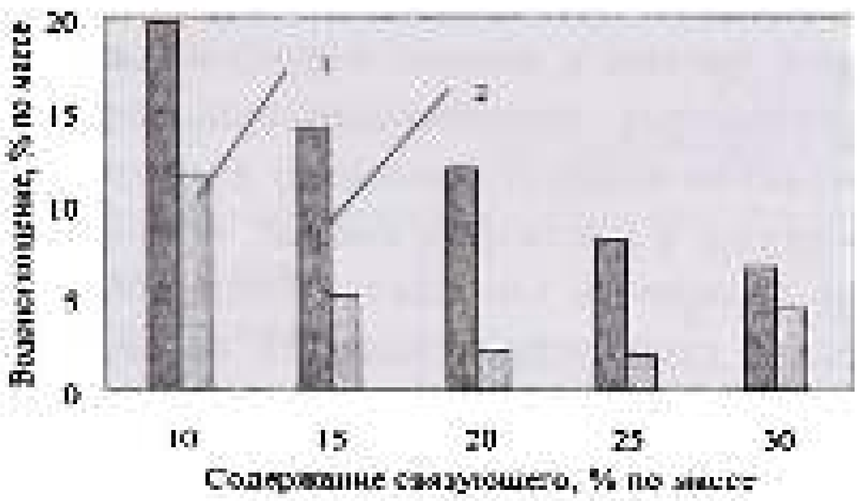
С уменьшением пористости прочность повышается, причем наиболее интенсивно эти процессы происходят при давлении прессования до 50 МПа. При дальнейшем его увеличении тенденция сохраняется, но носит менее выраженный характер. Различия в изменении прочности и пористости наполненных композитов объясняются различной сжимаемостью порошков. Так, например, кривые уменьшения пористости, как и кривые роста прочности, композитов, наполненных кварцевым песком, носят более монотонный характер по сравнению с композитами, наполненными диатомитом и маршалитом.

В ходе проведения экспериментов по исследованию зависимости изменения прочности материалов контактно-конденсационного твердения от основных структурообразующих факторов изготовлены и исследованы композиты на основе природных ресурсов и отходов производства предприятий Республики Мордовия. Были проведены исследования изменения прочностных свойств композитов на основе цементного, стеклощелочного, эпоксидного связующих и цементной пыли в зависимости от степени наполнения, дисперсности и вида наполнителя, количественного содержания и вида связующего, способа уплотнения, характера отверждения и т. д.

Установлено, что оптимальный режим обработки различен в зависимости от вида используемого связующего и наполнителя. Содержание связующего и давление прессования могут обусловить разницу прочности композитов, отвержденных в нормальных и термовлажностных условиях, до 50 %. В случае применения стеклощелочного вяжущего прочность пропаренных композитов оказалась существенно (на 30—50 %) выше прочности композитов, отвержденных в нормальных условиях. Это объясняется тем, что при твердении вяжущего на основе боя стекла основным фактором является наличие щелочной среды. При повышении температуры активизируются щелочные оксиды, входящие в состав стекла, уровень pH среды увеличивается и процессы структурообразования протекают более интенсивно.

Кроме прочностных характеристик, при проектировании конструктивных элементов из строительных композитов важно знать их деформативные свойства. Деформативность охватывает комплекс таких показателей, как усадка, температурная деформация, упругость и т. д. Коэффициент температурного расширения для строительного раствора на стеклощелочном связующем составил $1{,}25 \times 10^{-5}$—$3{,}12 \times 10^{-5}$. Для материалов контактно-конденсационного твердения значение этого коэффициента оказалось меньше, чем у составов, изготовленных по технологии виброуплотнения, на 20 % и более. Статический и динамический модули упругости для строительного раствора с соотношением компонентов 1 : 2 составили соответственно 1 480—5 000 и 1 500—6 000 МПа. Значение модуля упругости возрастало при использовании более плотных наполнителей (шлака по сравнению с диатомитом). Установлено, что при увеличении степени наполнения составов модуль упругости растворов также увеличивается.

Выявлены количественные зависимости изменения прочностных свойств цементных композитов от способа помола и последующего совмещения используемых компонентов. При содержании наполнителя в количестве 10 % от массы сухих компонентов прочностные показатели исследуемых материалов, изготовленных по технологии раздельного помола компонентов с последующим совмещением, оказались выше, чем у материалов, изготовленных с применением технологии совместного помола. Однако с увеличением



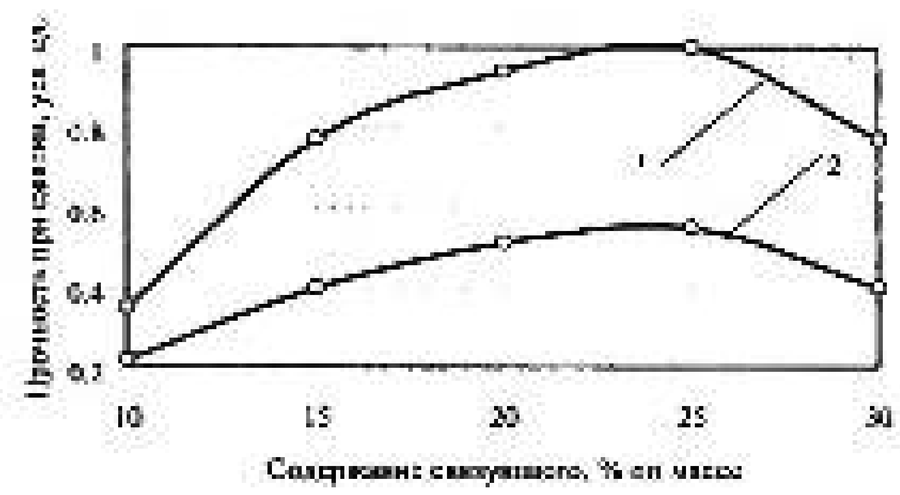


Рисунок 2

Зависимость изменения прочности при сжатии и водопоглощения эпоксидных композитов, наполненных диатомитом от содержания связующего:

1 — композиты, изготовленные по технологии контактно-конденсационного твердения; 2 — то же, по технологии виброуплотнения

степени наполнения для данных композитов технология совместного помола оказывается предпочтительнее. Вероятно, это можно объяснить большей гомогенизацией смеси, приводящей к снижению концентрации напряжений в структуре материала.

С целью экспериментального изучения процессов, происходящих в композитах контактно-конденсационного твердения при выдержке их в агрессивных средах, были проведены исследования с использованием метода рентгеноструктурного анализа. С целью изучения процессов деградации образцы выдерживались в течение 1 мес. в водных растворах серной кислоты, щелочи, а также в естественных условиях.

При выдерживании цементных связующих контактно-конденсационного твердения в 5 % растворе серной кислоты для минералов алита и белита было характерно уменьшение их количественного содержания, наблюдалось высокое содержание SiO_2.

Из рентгенограммы этих же составов, выдержанных в 5 % растворе NaOH, видно, что в течение 1 мес. существенных изменений в их химическом составе не произошло.

В материалах на основе стеклощелочного связующего под воздействием 5 % раствора серной кислоты произошли изменения, связанные с уменьшением содержания SiO_2. Для составов после выдержки их в агрессивной среде характерно преобладание $CaSO_4H_2O$. В композитах, наполненных шлаком, под воздействием раствора кислоты не произошло существенных изменений химического состава; для них также характерно преобладание SiO_2 (основные пики), но наблюдается некоторое уменьшение кристаллической фазы.

Нами проведены исследования, направленные на изучение водостойкости композитов контактно-конденсационного твердения, полученных на основе цементного, стеклощелочного связующего и цементной пыли. Деградация структуры под воздействием воды оценивалась по изменению массосодержания и коэффициенту стойкости, определяемому как относительное изменение предела прочности при сжатии после выдерживания в воде. При проведении эксперимента рассматривали составы с наполнителями и добавками, в качестве которых использовались кварцевый песок, диатомит, маршалит, стеклобой, пиритные огарки, молотые шлак, известняк и керамзит. Каждый состав включал в себя несколько партий образцов, изготовленных по технологии контактно-конденсационного твердения при давлении прессования от 0 до 200 МПа, и для сравнения — одну партию, изготовленную с применением виброуплотнения.

У прессованных композитов, полученных на основе цемента и цементной пыли, выдержанных в воде, с течением времени прочность возрастает. Однако, несмотря на общую тенденцию изменение коэффициента водостойкости композитов, результаты несколько различаются в зависимости от способа изготовления, отверждения и вида наполнителя. Так, например, композиты, наполненные керамзитом, в случае изготовления по технологии контактно-конденсационного твердения значительно набирают прочность (у образцов, испытанных через 90 суток, коэффициент химической стойкости оказался равным 1,56), тогда как при изготовлении по технологии

виброуплотнения изменение прочности оказалось гораздо менее существенным.

Исследования, направленные на изучение водостойкости композитов, полученных на основе стеклощелочного вяжущего, выявили снижение прочностных показателей. В то же время материалы на основе боя стекла, изготовленные по технологии контактно-конденсационного твердения, обладают большей водостойкостью, чем композиты, изготовленные по стандартным технологиям.

При проведении исследования долговечности в условиях воздействия щелочной среды также рассматривались составы с наполнителями и добавками. У композитов, выдержанных в растворе NaOH, с течением времени прочность снижается. Лучший показатель коэффициента стойкости при применении в качестве вяжущего цементной пыли имеют композиты контактно-конденсационного твердения с использованием в качестве наполнителя диатомита и пиритных огарков, отвержденные в условиях термовлажностной обработки. После 90 суток выдерживания относительное изменение предела прочности при сжатии составило 0,91 и 0,87 соответственно.

Результаты испытания образцов на основе боя стекла после выдерживания в 5 % растворе едкого натра в течение 90 суток показали, что технология изготовления и способ отверждения оказывают влияние на химическую стойкость связующих, а лучшие показатели имеют состав, изготовленный по технологии контактно-конденсационного твердения и отвержденный в условиях термовлажностной обработки. Относительное изменение прочности рассмотренных композиций составило 0,20—0,45 по сравнению с первоначальной.

Одними из наиболее распространенных агрессивных сред являются кислоты и их водные растворы. Экспериментальные исследования и практика показывают, что цементные бетоны имеют незначительное химическое сопротивление даже в слабых растворах кислот, наиболее опасными из которых являются сильные неорганические, такие как серная, азотная, соляная. Одним из способов повышения химической стойкости композитов в различных агрессивных средах, в том числе в кислотах и их водных растворах, является применение технологии контактно-конденсационного твердения, позволяющей получать композиционные материалы с максимальной упаковкой частиц и низкой пористостью.

У композитов, изготовленных по технологии контактно-конденсационного твердения и выдержанных в растворах кислот, с течением времени прочность снижается (коэффициент химической стойкости меньше 1), но деструктивное воздействие агрессивной среды, которое для виброуплотненных материалов, изготовленных на основе цемента и цементной пыли, проявилось в быстром, значительном снижении прочности и разрушении образцов, проявляется не столь существенно. Вид наполнителя оказывает существенное влияние на величину коэффициента химической стойкости. Если сравнить результаты испытания наполненных составов с результатами испытания контрольных образцов, изготовленных без наполнителей, видно, что при применении стеклобоя коэффициент химической стойкости на 30 % выше, чем у ненаполненных образцов.

Лучшие показатели химической стойкости оказались у составов, отвержденных в условиях термовлажностной обработки. После 90 суток выдерживания в кислой агрессивной среде композиция на основе стеклощелочного связующего имела коэффициент химической стойкости более 0,6.

Биологическое повреждение неорганических материалов (бетонов различного вида на неорганических вяжущих — цементах, цементной пыли, гипсе, извести и др.), керамических и естественных каменных материалов, как правило, обусловлено воздействием продуктов метаболизма микроорганизмов. При проведении испытаний в качестве предполагаемых агентов химической коррозии, вызванной воздействием продуктов жизнедеятельности бактерий, нами были использованы серная кислота (с концентрацией 2 %), аммиак (2 %), азотная кислота (2 %). После термовлажностной обработки образцы из каждой партии помещались в растворы, моделирующие продукты метаболизма микроорганизмов.

На композиты, изготовленные с применением виброуплотнения, агрессивные среды оказали сильное деструктивное воздействие. У композитов, изготовленных по технологии контактно-конденсационного твердения, коэффициент биологической стойкости меньше 1,

Таблица 1

Результаты исследования влияния добавки «Тефлекс» на биостойкость материалов на основе портландцемента М400

Содержание добавки, мас. ч.	Степень роста грибов в баллах по методу		Характеристика по ГОСТ
	1	3	
0	2	5	Грибостоек
1,0	2	4	Грибостоек
3,0	2	4	Грибостоек
5,0	1	3	Грибостоек
7,5	0	0	Фунгицидеи

Таблица 2

Результаты исследования влияния добавки «Тефлекс» на биостойкость материалов на основе напрягаемого цемента

Содержание добавки, мас. ч.	Степень роста грибов в баллах по методу		Характеристика по ГОСТ
	1	3	
0	3	5	Грибостоек
1,0	3	5	Грибостоек
3,0	3	4	Грибостоек
5,0	2	4	Грибостоек
7,5	0	0	Фунгицидеи

Таблица 3

Результаты исследования влияния добавки «Тефлекс» на биостойкость материалов на основе боя стекла

Содержание добавки, мас. ч.	Степень роста грибов в баллах по методу		Характеристика по ГОСТ
	1	3	
0	0	3	Грибостоек
1,0	0	3	Грибостоек
3,0	0	3	Грибостоек
5,0	0	3	Грибостоек
7,5	0	0	Фунгицидеи

но снижение прочности не столь значительно, причем увеличение давления прессования позитивно влияет на изменение прочности и коэффициент биологической стойкости композитов на основе цементной пыли, подвергнутых воздействию модельной химической агрессивной среды в течение 90 суток. Применение пиритных огарков позитивно сказывается на стойкости композитов на основе цементной пыли, выдержанных в модельной среде (коэффициент стойкости на 30 % выше, чем у ненаполненных образцов).

Один из наиболее эффективных путей повышения качества композитов — применение химических модификаторов. Нами проведены исследования по изучению влияния целого ряда как органических, так и неорганических модификаторов на физико-механические свойства композитов на основе боя стекла и цемента.

Установлено, что для повышения показателей долговечности и прочности композиционных строительных материалов со стеклощелочным связующем высокоэффективны добавки на основе органических смол. В наших исследованиях в качестве модификаторов использованы эпоксидная смола ЭД-16 и жидкое натриевое стекло. Введение ЭД-16 в количестве 3,5 мас. ч. приводит к повышению прочности при сжатии на 25 %, при дальнейшем увеличении количества модифицирующей добавки эффект роста прочности снижается. Использование добавки «Тефлекс» в количестве 3 мас. ч. приводит к повышению прочности при сжатии материалов на основе напрягаемого цемента на 40 %.

Проведены исследования с целью изучения влияния модификаторов на химическую стойкость композитов контактно-конденсационного твердения на основе боя стекла и цемента. Для повышения стойкости материала в условиях воздействия жидких кислых сред, в частности растворов серной кислоты, была использована барийсодержащая добавка. Известно, что при взаимодействии бария с сульфатами образуется очень плотная нерастворимая соль $BaSO_4$. Результаты свидетельствуют о том, что введение барийсодержащей добавки в состав композита в количестве 10 мас. ч. увеличивает его устойчивость в условиях воздействия 10 % раствора серной кислоты на 30 %, причем при введении добавки в количестве до 10 мас. ч. наблюдается лишь незначительное снижение прочности.

Одним из наиболее эффективных способов повышения долговечности строительных композитов является использование полимерной добавки. У композитов на основе эпоксидной смолы ЭД-20 при увеличении содержания связующего от 5 до 20—25 % также наблюдается рост прочности. Максимальная прочность достигается при содержании эпоксидной смолы порядка 20—25 %, а при дальнейшем его увеличении наблюдается существенное снижение прочностных характеристик. Это, вероятно, можно объяснить тем, что при введении большего количества связующего увеличивается толщина эпоксидной пленки между частицами наполнителя и, соответственно, возрастают усадочные напряжения, вызывающие появление микротрещин даже в случае полного отсутствия нагрузки или на ранней стадии нагружения. У композитов на основе эпоксидной смолы ЭД-20, изготовленных по технологии как виброуплотнения, так и контактно-конденсационного твердения, при увеличении содержания связующего от 5 до 20—25 % наблюдается снижение водопоглощения, причем применение технологии контактно-конденсационного твердения позволяет добиться существенного его снижения, особенно при малых количествах полимера.

Нами изучено биологическое сопротивление материалов на основе боя стекла и цемента с целью определения влияния количества вводимых добавок на степень роста грибов. Так, для всех исследованных материалов наблюдалось позитивное влияние добавки «Тефлекс» на их биостойкость, проявившееся в уменьшении степени роста грибов и проявлении фунгицидных свойств у ряда составов. Исследования материалов, изготовленных на основе портландцемента М400, боя стекла фракции < 0,16 мм и напрягаемого цемента, показали их грибостойкость. Составы с содержанием добавки в количестве 7,5 мас. ч. оказались фунгицидными. Зона ингибирования роста грибов составила от 3 до 4 мм (табл. 1—3).

Установлено, что модифицирующие добавки оказывают влияние не только на биологическое сопротивление материалов, но и на их основные физико-механические свойства: прочность, плотность, пористость, подвижность смеси, водопотребность, сроки схваты-

вания и т. д. Так, добавка «Тефлекс» оказывает пластифицирующее действие и уменьшает водопотребность смесей.

Таким образом, одним из способов, позволяющих повысить стойкость композитов в агрессивных химических и биологических средах, является применение более эффективных технологий изготовления композиционных материалов, например, технологии контактно-конденсационного твердения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Арбузова Т. Б.** Оптимизация технологических параметров производства силикатного кирпича безавтоклавным способом / Т. Б. Арбузова, В. Ю. Сухов, Ю. В. Сидоренко // Исследования в области архитектуры, строительства и охраны окружающей среды : тезисы докладов 54-й научно-технической конференции. — Самара : Изд-во СамГАСА, 1997. — Ч. 1. — С. 42—43.

2. **Глуховский В. Д.** Вяжущие и композиционные материалы контактного твердения / В. Д. Глуховский, Р. Ф. Рунова, С. Е. Максунов. — Киев : Выща шк., 1991. — 242 с.

3. **Рунова Р. Ф.** Перспективы использования вяжущих контактно-конденсационного твердения в композиционных материалах / Р. Ф. Рунова, С. Е. Максунов // Цемент. — 1990. — № 6. — С. 54—56.

4. **Соломатов В. И.** Термодинамические аспекты контактной конденсации нестабильных силикатных систем / В. И. Соломатов, С. Ф. Корнюкова, Ю. В. Сидоренко // Известия вузов. Строительство. — Новосибирск. — 2001. — № 2—3. — С. 38—44.

Поступила 16.09.04.

БИОМОДИФИКАТОРЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

С. В. Дудынов

Приводятся сведения о цементных композициях с добавками-модификаторами. В качестве последних предлагается использовать компоненты природного происхождения или вещества, составленные из их фрагментов. Синтезированы модификаторы гликолипидной серии и исследованы свойства цементных композитов с разработанными добавками.

К настоящему времени на практике не находят применения цементные смеси, в рецептуре которых отсутствуют те или иные добавки-модификаторы. Последние могут состоять из одного вещества, но чаще применяют комплекс соединений для придания бетонной композиции специфических свойств. Как правило, комплексные модификаторы содержат хотя бы один реагент, обладающий пластифицирующим эффектом, — разжижитель. Однако на применение современных добавок накладываются определенные ограничения, связанные с ужесточением экологических требований последних лет.

В этой связи вполне естественно стремление использовать компоненты природного происхождения либо вещества, составленные из их фрагментов. Здесь в первую очередь привлекают к себе внимание углеводы и липиды — возобновляемые природные соединения, существующие в практически неисчерпаемых объемах. Продукты обеих групп нетоксичны и в случае попадания в окружающую среду подвергаются быстрой деградации. Их можно выделить из растительного сырья, но они могут иметь и животное происхождение. Например, известно применение китового жира для промышленного производства гидрофобного цемента. Однако, на наш взгляд, бо́льшие перспективы имеют растительные и микробные источники, хотя здесь существуют определенные трудности технологического плана.

Предварительные опыты, проведенные с добавками углеводов, показали, что они не являются разжижителями цементных систем. В данном случае уместнее говорить об антипластифицирующем действии. В части же изучения прочностных характеристик материалов, полученных из составов с добавками этой категории, зафиксировано сильное понижение прочности строительных композитов по мере увеличения дозировки углевода-модификатора. Ни в одной из исследованных групп углеводов прочностные характеристики цементных материалов, содержащие добавки, не достигают значений контрольных (бездобавочных) составов. Более того, цементные композиции с расходом углеводов выше 5 % не имеют практической прочности ни при твердении в ходе тепловлажностной обработки, ни при твердении в нормальных условиях. Этот вывод сделан после наблюдения за образцами из цементных растворов, хранившихся в комнатных условиях в течение отрезка времени, равного 2.5 годам.

С целью придания углеводам пластифицирующих свойств и уменьшения отрицательного воздействия на прочностные характеристики цементных растворов и бетонов к структуре углеводного соединения присоединяли липидный фрагмент. Прививка гидрофобной фракции приводит состав продукта в более сбалансированное состояние, а вновь синтезированное соединение представляет собой типичное поверхностно-активное вещество (ПАВ), обладающее свойством разжижения цементных смесей.

Здесь в качестве липидного компонента предпочтительнее использовать соединения линейного вида с кратными связями. Двойные связи повышают гидрофильность ПАВ, а увеличение объема цепи затрудняет упаковку в плотные агрегаты. Присутствие двух двойных связей заметно увеличивает площадь поперечного сечения молекул на поверхности. Кроме того, наличие двойной связи между дифильными частями молекул облегчает деградацию соединения, что делает его более экологически безопасным [1—3].

Необходимо учитывать и фундаментальное свойство поверхностно-активных веществ — способность к мицелообразованию. Это важно потому, что молекулы ПАВ адсорбируются на зернах цемента не в виде мономолекулярного слоя, а в мицеллярной форме. В то же время существование поверхностно-активного вещества в молекулярном виде в растворе ни при каких обстоятельствах не может превысить значение, равное критической концентрации мицелообразования. Увеличение концентрации раствора приводит лишь к смене ассоциативных форм, а чрезмерное повышение расхода модификатора сопровождается самоорганизацией мицелл в сетчатые структуры. Поэтому вязкость цементной композиции в данном случае может не снижаться, а, наоборот, возрастать.

Синтезированы модификаторы гликолипидной (ГЛ) серии, представляющие собой типичные ПАВ. Поверхностное натяжение водных растворов гликолипидов снижается по мере увеличения количества вводимого соединения с 72 до 33 мН/м.

Исследование цементных смесей с ГЛ-добавками выявило наличие у синтезированных соединений пластифицирующего свойства. Причем по разжижающему действию соединение с условным обозначением ГЛП-7 не уступает известному суперпластификатору С-3 (рис. 1).

Некоторые модификаторы этой группы оказались эффективнее, чем С-3 в «тощих» смесях при небольших количествах вводимой добавки. Тем не менее следует ограничить дозировку добавок гликолипидной серии в цементные композиции значением 3 % от массы вяжущего.

Хотя полностью избавиться от негативного влияния ГЛ-модификаторов на прочностные показатели цементных растворов и бетонов не удалось, это снижение с ростом

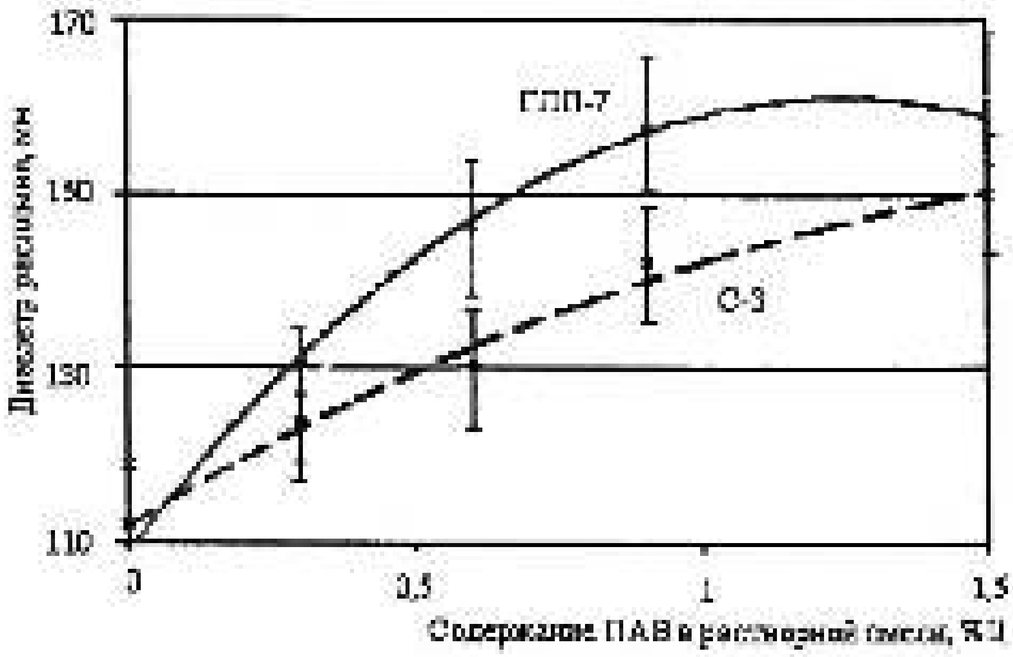


Рисунок 1

Влияние добавок на расплыв растворной смеси из ПЦ400 Д20 ОАО «Мордовцемент»

(Ц : П = 1 : 3, В/Ц = 0,64)

дозировки добавки происходит намного медленнее, чем при использовании немодифицированного продукта.

Как и подавляющее большинство органических пластификаторов, разработанные добавки замедляют процесс твердения цементных композиций и увеличивают сроки схватывания (табл.).

Здесь индукционный период возрастает по мере роста дозировки био-ПАВ. Одновременно независимо от количества введенного гликолипида наблюдается лавинообразный рост прочности цементной пасты после фиксации момента начала схватывания. По сравнению с контрольными бездобавочными составами время твердения сокращается в 2—4 раза. Это характерно для смесей, изготовленных с применением вяжущих от различных производителей. Были опробованы цементы: ОАО «Вольскцемент», ОАО «Жигулевские стройматериалы», ОАО «Мальцовский портландцемент», ОАО «Мордовцемент» марок 400 и 500 с активными минеральными добавками и без них. На процесс структурообразования ГЛ-модификаторы действуют аналогично другим органическим соединениям, в целом — замедляют (рис. 2).

Происходящие изменения могут быть следствием сорбирования добавки на продуктах гидратации. В результате между различными структурными элементами твердеющей цементной системы устанавливается значительно меньшее количество связей. То есть на поверхностях компонентов цементной смеси образуется слой из модификатора, который препятствует возникновению прочных связей в формирующейся цементной системе. При относительно высоких дозировках добавка

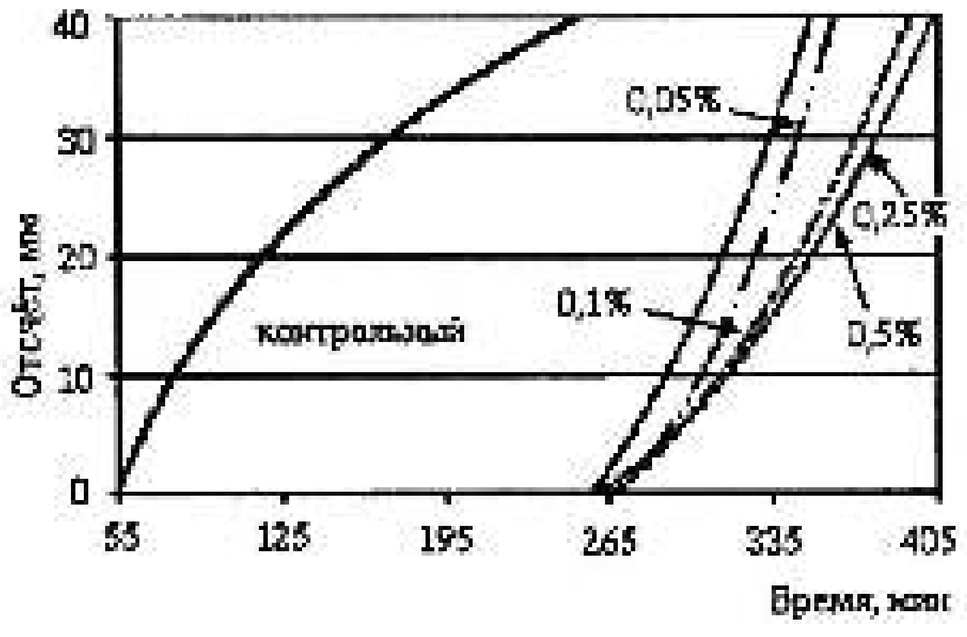


Рисунок 2
Структурообразование цементной пасты с добавкой гликолипидного модификатора (ПЦ500 ОАО «Мальцовский портландцемент»)

адсорбируется не в молекулярной форме, а в виде ассоциатов, вследствие чего взаимодействие между новообразованиями вяжущего сильно затруднено.

Особенно ощутимо торможение процесса гидратации сказывается на прочности материала в ранние сроки твердения. В этот период в смесях с био-ПАВ формируется значительно меньше гидратных новообразований. Однако с течением времени негативное (для прочностных характеристик) влияние добавки ослабевает. Вполне возможно, что это связано с активацией молекулами модификатора поверхностей продуктов гидратации и последующего встраивания этих молекул в структуру формирующегося материала.

Подводя итог проведенным исследованиям, можно констатировать: биомодификаторы гликолипидной серии по пластифицирующе-

Таблица
Конец схватывания цементной пасты с добавками гликолипидного типа

Дозировка добавки, % цемента	ГЛП-7	Р-2	СОПАК-4
0	305	305	305
0,05	285	275	260
0,1	285	260	275
0,25	330	360	315
0,5	540	930	630

му действию сопоставимы с известным суперпластификатором С-3, а в «тощих» смесях оказываются более эффективными при невысоких дозировках. В то же время целесообразно ограничить количество вводимого ГЛ-модификатора 3 % массы цемента из-за снижения прочностных показателей цементных композиций при бо́льших расходах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Клеман М.** Основы физики частично упорядоченных сред: жидкие кристаллы, коллоиды, фрактальные структуры, полимеры и биологические объекты / М. Клеман. — М. : Физматлит, 2007. — 680 с.

2. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Холмберг, Б. Йенссон, Б. Кронберг, Б. Линдман. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. — 528 с.

3. **Сумм Б.** Основы коллоидной химии / Б. Сумм. — М. : Академия, 2007. — 239 с.

Поступила 16.09.08.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ СТЕКЛА

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

В работе приведены результаты исследований процессов структурообразования, свойств и долговечности связующих на основе боя стекла. Получены количественные зависимости изменения коэффициента стойкости материалов в воде, в водных растворах кислот и щелочей, биологически активной среде. Подобраны модифицирующие добавки, позволяющие повысить стойкость связующих в воде, водных растворах кислот и в условиях воздействия микроорганизмов.

В работе приведены результаты исследований процессов структурообразования, свойств и долговечности связующих на основе боя стекла. Получены количественные зависимости изменения коэффициента стойкости материалов в воде, в водных растворах кислот и щелочей, биологически активной среде. Подобраны модифицирующие добавки, позволяющие повысить стойкость связующих в воде, водных растворах кислот и в условиях воздействия микроорганизмов.

В настоящее время проблеме утилизации побочных продуктов промышленного производства в нашей стране не уделяется достаточного внимания. Ежегодно предприятия сбрасывают в отвалы сотни тонн отходов, загрязняющих окружающую среду и негативно влияющих на экологическую обстановку. Учитывая тот факт, что отношение к этому процессу не имеет тенденции к изменению в лучшую сторону, можно предположить, что в ближайшее время эта проблема будет приобретать все большую актуальность. Поэтому уже сейчас необходимо обратить на это пристальное внимание и постараться привлечь к решению столь важной задачи максимальное количество хозяйственных отраслей.

Одним из основных препятствий на пути к решению вышеобозначенной проблемы является отсутствие достаточного количества реальных проектов, заключающихся в разработке технологических решений, позволяющих обеспечить повторное использование промышленных отходов при получении продукции различного назначения.

Применение различных форм несанкционированного размещения боя стекла, отработанных источников света и других приборов

нередко обусловливает повышенное содержание ртути в воздухе и почве на территориях, прилегающих к производственным площадям, и в местах захоронения отходов.

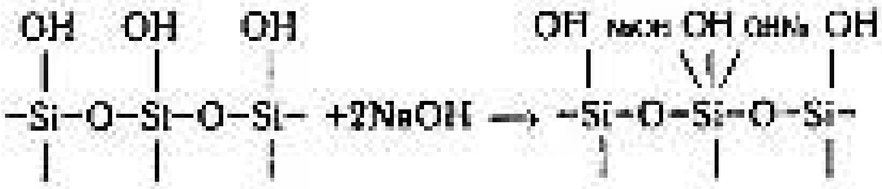
В качестве принципиально нового способа извлечения ртути из отработанных источников на одном из предприятий Республики Мордовия принят принцип озонирования с последующей водной обработкой носителя под давлением. По оценке специалистов, содержание ртути в отходах после подобной обработки не превышает уровня ПДК, и они могут быть использованы вторично в качестве компонентов при получении строительной продукции.

О возможности утилизации отходов стекла светотехнической промышленности за счет индустрии строительных материалов ученые вели разговоры еще с 1970-х гг., однако практические исследования в этой области не проводились. В настоящее время целый ряд отечественных и зарубежных вузов и НИИ заняты разработкой строительных композитов с его использованием. Например, специалисты инженерного факультета и прикладных наук Колумбийского университета (штат Нью-Йорк) работают над проблемой замены каменного заполнителя в бетоне боем стекла. «Строительная газета» (1997, 22 авг.) приводит сведения, что на эти исследования в США выделены 444 тыс. долл. Решением подобных задач занимаются и отечественные ученые. Определенные успехи достигнуты усилиями специалистов Мордовского государственного университета [3; 8].

Основной задачей наших исследований являлась разработка эффективных технологий, позволяющих использовать бой стекла не только в виде заполнителя, но и в качестве основного компонента связующего. Подобные работы проводились и проводятся профессорами А. П. Меркиным, Ю. П. Горловым и их учениками. Ими были разработаны составы бесцементных связующих на основе природных и искусственных стекол, способные отверждаться в условиях гидротермальной обработки [4; 6]. С учетом высокой энергоемкости, а, соответственно, и стоимости подобных технологических операций, наиболее перспективным способом утилизации боя стекла за счет индустрии строительных материалов представляется получение связующего и бетонов на его основе, твердеющих при температуре изотермического цикла, не превышающей 90 °С. В настоящей работе приводятся результаты исследования подобных композитов.

Превращение тонкодисперсного порошка связующего на основе боя стекла в камневидное тело происходит в результате взаимодействия компонентов, входящих в его состав, с водными растворами щелочей [4]. Для уточнения механизма твердения подобного связующего рассмотрим процесс взаимодействия водных растворов, имеющих повышенный уровень водородного показателя, с кремнеземом (основным компонентом вяжущего). Данный процесс представляет собой гетерогенную реакцию и состоит из ряда стадий, главными из которых являются диффузия компонентов жидкой среды к поверхности раздела фаз, процесс адсорбции гидратированных катионов щелочных металлов на активных участках поверхности кремнезема (сорбция в общем случае сопровождается изменением состояния кремнекислородных тетраэдров, что влечет за собой деполимеризацию кремнекислоты за счет разрыва кремнекислотных связей), последующий акт химического взаимодействия и, наконец, отвод продуктов реакции в межзерновой объем.

Процесс деполимеризации кремнезема связан с явлением адсорбции и объясняется привлечением представления о координационной ненасыщенности атомов кремния. Молекулы NaOH подходят к поверхности кремнезема таким образом, что группы — OH — образуют с атомом кремния координационную связь. Механизм, согласно которому происходит взаимодействие NaOH с SiO_2 на стадии деполимеризации кремнезема, можно представить следующим образом:



Моменту адсорбции двух гидроксид-ионов на силановом участке поверхности атома кремния, который находится в тетраэдрическом окружении, соответствует увеличение координационного числа кремния до 6. С достижением последнего происходит перераспределение энергии связей. Образование такого пе-

реходного комплекса приводит к ослаблению =Si — O — Si= связей. Частичка, соответствующая мономеру, в таком переходном состоянии удерживается соседями менее прочно. Таким образом, создаются условия для ее перехода в раствор. С увеличением температуры возрастает подвижность элементов кремнекислородного скелета, уменьшается жесткость связей и, следовательно, требуется меньшая энергия для отрыва тетраэдра.

С учетом описанных выше процессов, происходящих при взаимодействии водных растворов щелочей с кремнеземом, механизм твердения связующего на основе боя стекла представляется следующим образом. Первоначально под воздействием щелочи и повышенной температуры на поверхности частиц стекла растворяется тонкодисперсный аморфный кремнезем, в результате чего повышается его концентрация в растворе, конденсируется пар, что приводит к понижению pH среды и вызывает реакцию поликонденсации с образованием геля поликремниевой кислоты, который склеивает не полностью растворившиеся частицы стекла и зерна заполнителя. Дальнейшее воздействие температуры в процессе термовлажностной обработки приводит к кристаллизации геля кислоты с образованием труднорастворимых гидроалюмосиликатных соединений.

С целью экспериментального подтверждения данного теоретического предположения нами были проведены исследования процессов структурообразования композитов на уровнях микро- и макроструктуры с использованием метода рентгеноструктурного анализа.

Результаты исследования сырьевых материалов показали, что на дифрактограмме боя стекла в интервале углов 2 θ 8—40° наблюдается аморфное гало, характерное для неупорядоченных структур, обладающих лишь ближним порядком в расположении частиц. Кроме стеклофазы, в образце присутствует небольшое количество кристаллических фаз, о чем свидетельствует неполный набор дифракционных рефлексов слабой интенсивности (d = 0,424; 0,334; 0,228 нм), соответствующий кристаллической фазе SiO_2 в форме кварца и полевого шпата (d = 0,322 нм).

На рентгенограмме, отражающей фазовый состав минеральной добавки, входящей в состав связующего, наблюдается ряд дифракционных отражений, относящихся к кристаллическим фазам кварца (d = 0,424; 0,228 нм), полевого шпата (d = 0,652; 0,424; 0,356; 0,346; 0,326; 0,322; 0,299 нм) и монтмориллонита (d = 0,242; 0,168; 0,150 нм). На дифрактограммах отвержденных образцов связующего (рис. 1 *а*) фиксируются линии кристаллических новообразований с d, равным 0,707; 0,404; 0,318; 0,268 нм, соответствующие цеолиту $Na_2Ca_2Al_6Si_9O_{30} \times 9H_2O$ и щелочным алюмосиликатам типа альбита $NaAlSi_3O_8$ (d = 0,374; 0,321; 0,292 нм), а также ряд дифракционных отражений, относящихся к кристаллическим фазам SiO_2 в форме низкотемпературных модификаций кварца (d = 0,424; 0,334; 0,228 нм).

Как известно, физико-механические свойства бетона во многом определяются структурой контакта между матричным материалом и

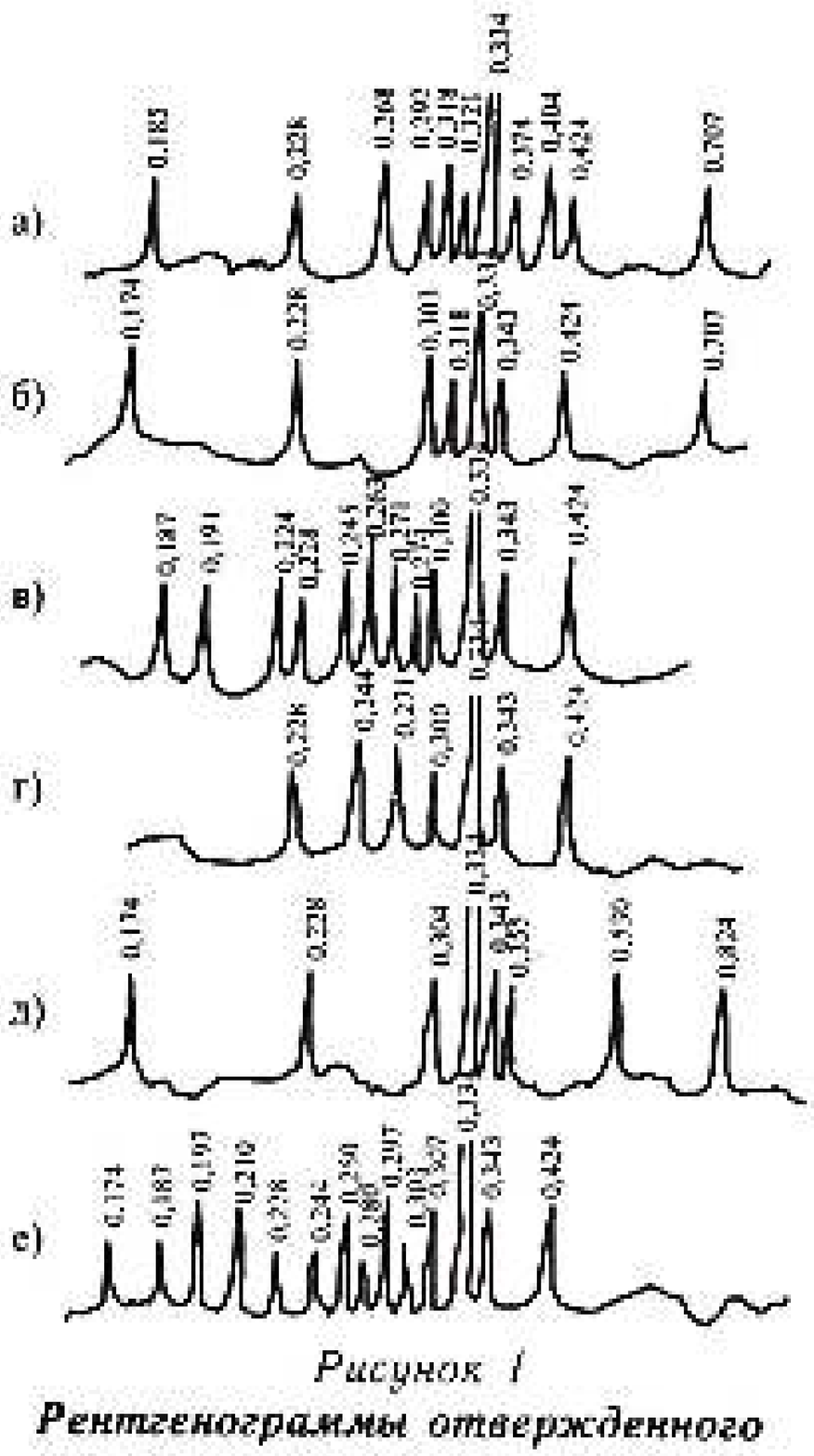


Рисунок 1

Рентгенограммы отвержденного связующего (а) и зон контакта матричного материала с заполнителями: гранитным щебнем (б); керамзитом (в); кирпичным боем (г); боем стекла (д); известняковым щебнем (е)

заполнителем. Под влиянием процессов, протекающих на границе контакта связующего с поверхностью заполняющей части, происходит формирование структуры окаймляющих и омоноличивающих слоев вокруг зернистого заполнителя. Характер и полнота этих процессов зависят от многих факторов: природы минерального вяжущего и наполнителя, дисперсности наполнителя, кристаллохимических свойств и структуры минералов, содержания жидкой среды в смеси, присутствия в системе поверхностно-активных и других добавок, температуры отверждения, степени уплотнения и т. д.

Фазовый состав новообразований в зоне контакта стеклощелочного связующего с заполнителями в настоящее время малоизучен. Отличительной особенностью подобных систем является повышенный уровень водородного показателя матричной составляющей. Едкие щелочи, участвующие в процессе гидратации вяжущего, активно взаимодействуют с минералами глин и другими силикатными веществами, что позволяет использовать в качестве заполнителей широкий спектр естественных и искусственных заполнителей, включая отходы производств.

В наших исследованиях в качестве заполнителей рассматривались гранитный и известняковый щебень, керамзитовый гравий, бой глиняного кирпича и стекла ламп накаливания. Учитывая тот факт, что в начальный период гидратации и структурообразования влияние заполнителя на состав образующихся фаз контакта незначительное, исследования проводились после шести месяцев выдерживания бетонов на основе стеклощелочного связующего при нормальных условиях. В ходе эксперимента установлено, что на рентгенограмме, отражающей фазовый состав зоны контакта гранитного щебня со связующим (рис. 1 *б*), наблюдается ряд дифракционных отражений, относящихся к кристаллическим фазам гидросиликата кальция C_2SH_2 (d = 0,303 нм) и щелочного алюмосиликата типа анальцима $NaAlSi_2O_6 \times H_2O$ (d = 0,343; 0,174 нм). При использовании в качестве заполнителя керамзитового гравия и боя глиняного кирпича (рис. 1 *в*, *г*) в зоне контакта присутствуют новообразования дисиликата натрия $Na_2Si_2O_6$ (d = = 0,263 нм); цеолитового соединения $Na_2Al_2 \times$ $\times SiO_4 \times 6H_2O$ (d = 0,300; 0,271; 0,245 нм), гидрата нефелина (d = 0,274; 0,224; 0,191; 0,187 нм). Зона контакта связующего со стеклянным заполнителем (рис. 1 *д*) представлена закристаллизованным силикатом натрия Na_2SiO_3 (d = 0,530; 0,355; 0,304 нм), гидросиликатом кальция тоберморитовой группы C_2SH_2 (d = 0,303 нм) и анальцимом. Новообразования в зоне контакта известнякового заполнителя и вяжущего (рис. 1 *е*) представлены карбосиликатом кальция $Ca_5Si_2O_7(CO_3)_2$ (d = 0,307; 0,301; 0,297; 0,280; 0,210 нм), карбонатом кальция в форме кальцита (d = = 0,303; 0,250; 0,228; 0,208 нм), гидросиликатом кальция тоберморитовой группы и гидроалюмосиликатным соединением типа анальцима.

Таким образом, с учетом полученных результатов можно сделать вывод, что на поздней стадии твердения композиционных материалов на основе стеклощелочного связующего заполнители способствуют образованию весьма плотной и однородной структуры контактной зоны из соединений сложного щелочного и щелочно-щелочноземельного гидроалюмо-силикатного состава.

Прочностные свойства связующего на основе боя стекла определяются содержанием отдельных компонентов в составе. Были проведены исследования зависимости прочности от количественного содержания в композиции водного раствора едкого натра и минеральной добавки, а также типа последней. Установлено, что лучшими свойствами обладают те составы, в которых в качестве минерального компонента используются тонкоизмельченные порошки мела и керамзита.

На основе разработанных связующих получены составы растворов и бетонов с оптимальным соотношением компонентов и изучены их физико-технические свойства. Основные характеристики материалов приведены в табл. 1.

Полученные составы растворов и бетонов по физико-механическим, теплотехническим, технологическим показателям удовлетворяют требованиям, предъявляемым к стеновым материалам, и могут быть использованы при возведении надземной части малоэтажных зданий. Одной из отличительных особенностей новых материалов является то, что для их наполнения могут быть использованы пески с глинистыми примесями. При твердении растворов и бетонов на таких песках

Таблица 1

Физико-технические показатели строительных материалов на основе стеклообразующего связующего

Показатель	Строительный раствор	Тяжелый бетон	Легкий бетон	Ячеистый бетон	Бетон с заполнителями из микросфер
Прочность при сжатии, МПа	18	25	16	0,5—0,9	20
Средняя плотность, кг/м^3	2 000	2 400	1 400	500	650
Коэффициент теплопроводности, Вт/м °С	—	—	0,43	0,13	0,19
Модуль упругости, МПа	6 000	9 750	4 600	400	6 500
Коэффициент температурного расширения	$0{,}897 \times 10^{-5}$	$1{,}558 \times 10^{-5}$	$0{,}427 \times 10^{-6}$	—	—
Линейная усадка, %	0,13	0,12	0,24	—	—
Водопоглощение за 24 ч, % по массе	0,3—0,6	0,2—0,3	1,5—4,5	30—50	0,2

в условиях повышенной щелочности жидкой фазы происходит гидратация глинистых минералов, в результате чего образуются щелочные гидроалюмосиликаты, способствующие уплотнению их структуры. Так, на основании экспериментальных исследований установлено, что при использовании для приготовления строительного раствора песка с содержанием глины 7 % его прочность после термовлажностной обработки оказалась на 18 % выше, чем у аналогичного состава, заполнителем в котором являлся чистый кварцевый песок.

Таким образом, применение вяжущего на основе стеклобоя позволяет использовать для получения бетонов пески с высоким содержанием глинистых включений, которые для цементных бетонов не рекомендуются. Следует отметить, что запасы таких песков в России достаточно велики, тогда как во многих регионах проводятся дорогостоящие операции по обогащению местных песков.

На машиностроительных, химических и пищевых предприятиях, складах химикатов, объектах сельского хозяйства строительные конструкции подвергаются воздействию агрессивных сред. Большинство технологических процессов на этих предприятиях связано с контактированием материалов с водными растворами кислот, щелочей, нефтепродуктами, биологически активными средами. Это приводит к снижению ресурса конструкций, увеличению расходов на ремонт и проведению дорогостоящих материалоемких мероприятий по защите конструкций от коррозии. По этой причине решение вопросов, связанных с повышением коррозионной стойкости строительных композиционных материалов, является важной научной задачей. В данной работе приведены результаты исследования долговечности связующих на основе боя стекла. Технология их получения приведена в работе [9].

Водостойкость является одним из самых универсальных показателей, характеризующих долговечность строительных композиционных материалов. Вода, обладая высокой проникающей способностью, оказывает деструктивное воздействие практически на все виды материалов. Водостойкость связующего

определяется в основном его способностью противостоять физическому воздействию проникающей воды, приводящему к пластификации композиции, уменьшению адгезионного взаимодействия частиц в результате обводнения поверхности контакта. Кроме того, прочность связующего при водонасыщении снижается вследствие того, что микротрещинообразование облегчается при адсорбции твердым телом полярной жидкости [2].

В наших исследованиях деградация структуры под воздействием воды оценивалась по изменению коэффициента стойкости, определяемому как относительное изменение предела прочности при сжатии после выдерживания в воде. При проведении эксперимента рассматривали составы с активными минеральными добавками, в качестве которых использовались молотые керамзит и мел, а также смесь порошков керамзита и известняка, взятых в соотношении 1 : 1. Каждый состав включал в себя две партии образцов, одна из которых отверждалась в условиях термовлажностной обработки при температуре 90 °С, а другая — при нормальных условиях.

Испытания проводились на образцах — кубах с ребром 20 мм. Результаты испытания составов после выдерживания в воде в течение 90 суток показали, что как тип минеральной добавки, так и способ отверждения связующих оказывают значительное влияние на стойкость (рис. 2). Из графиков видно, что лучшим показателем коэффициента стойкости обладают составы с использованием в качестве активных минеральных добавок молотого керамзита и бинарного наполнителя, отвержденные в условиях термовлажностной обработки. После 90 суток выдерживания относительное изменение предела прочности при сжатии составило 0,70—0,75. Составы, отвержденные прк нормальных условиях, обладают значительно меньшим коэффициентом водостойкости, величина которого колеблется в пределах 0,15—0.25 в зависимости от вида минеральной добавки. Причиной столь резкого отличия показателей водостойкости от способа отверждения является тот факт, что при твердении в нормальных условиях, для обеспечения более полного протекания процессов структурообразования, вводится дополнительное количество щелочного компонента. В итоге часть щелочи оказывается несвязанной. Свободный гидроксид натрия в водной среде пептизирующе воздействует на гель кремниевой кислоты, снова превращая ее в легкорастворимый золь [1].

Для улучшения свойств связующего на основе боя стекла эффективны полимерные добавки, модифицирующие поровую структуру продуктов гидратации стеклощелочного цемента.

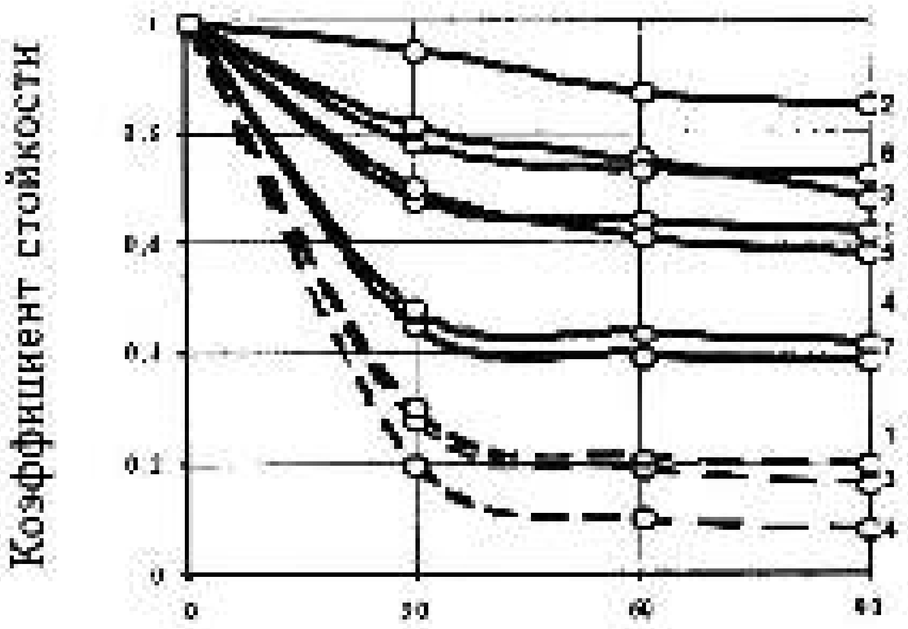
Положительные результаты можно также получить при модификации связующего некоторыми неорганическими добавками, которые при взаимодействии с компонентами связующего образуют нерастворимые или трудно растворимые соединения. Результаты эксперимента по увеличению водостойкости связующего за счет использования при его получении модифицирующих добавок приведены на рис 2.

Из графиков видно, что при введении эпоксидного олигомера ЭД-16 в количестве 3 мас. ч. водостойкость связующего повышается на 25 %. При использовании в качестве модификатора шестиводного хлористого алюминия в количестве 3 мас. ч. от массы связующего водостойкость увеличилась на 20 %.

С целью исследования химического сопротивления связующих на основе боя стекла в водных растворах щелочей были изготовлены оптимизированные по прочностным показателям составы, аналогичные использованным при определении водостойкости.

Результаты испытания образцов после выдерживания в 10 % растворе едкого натра в течение 90 суток (рис. 3) показали, что лучшая стойкость соответствуют составу, в котором в качестае минеральной добавки использовали бинарный наполнитель. Относительное изменение прочности данной композиции составило 0,5; у составов, наполненных керамаитовой пылью, этот же показатель снизился на 70 %.

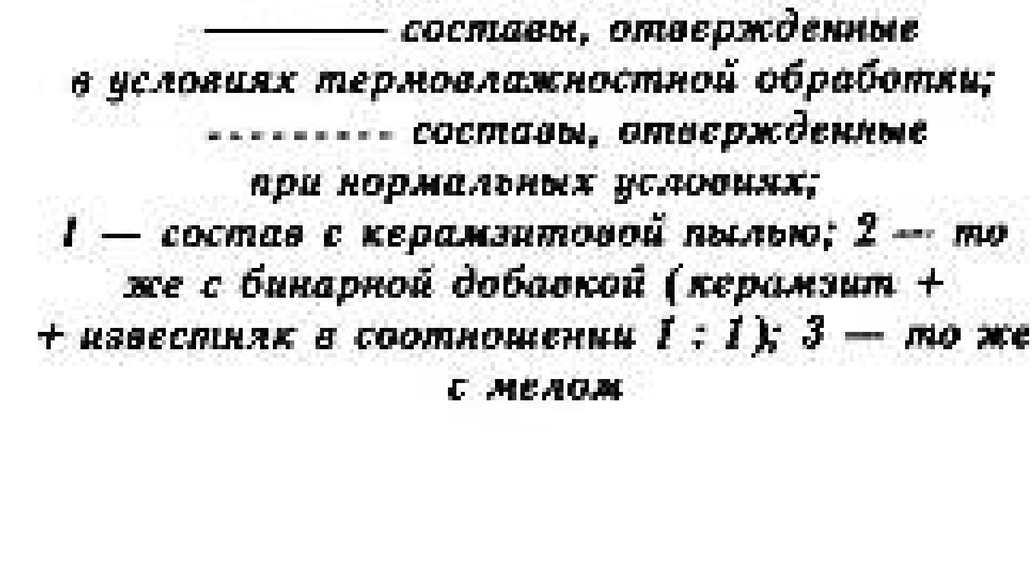
С целью исследования химического сопротивления связующих на основе боя стекла в водных растворах кислот были изготовлены составы, в которых в качестве активных мине-ральных добавок использовались молотый керамзит, мел, а также бинарный наполнитель, состоящий из смеси порошков известняка и керамзита, взятых в соотношении 1 : 1. Каждый состав включал в себя две партии образцов, одна из которых отверждалась в условиях термовлажностной обработки, а



Длительность выдерживания, сут

Рисунок 2

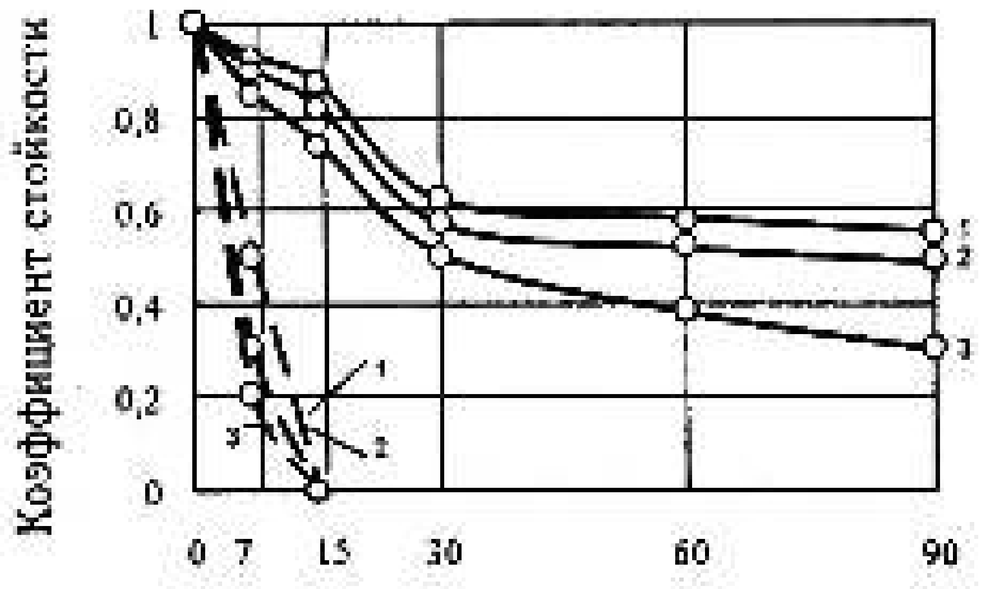
Зависимость изменения коэффициента водостойкости связующего на основе боя стекла от длительности выдерживания;
———— составы, отвержденные в условиях термовлажностной обработки;
- - - - - - - - - составы, отвержденные при нормальных условиях;
1 — состав с керамзитовой пылью; 2 — то же с добавкой ЭД-16 в количестве 3 мас. ч.; 3 — состав с бинарной добавкой (керамзит + + известняк в соотношении 1 : 1); 4 — то же с мелом без добавки; 5, 6, 7 — то же с мелом с добавкой $AlCl_3 \times 6H_2O$ в количестве 1, 3, 5 мас. ч. соответственно.



Длительность выдерживания, сут

Рисунок 3

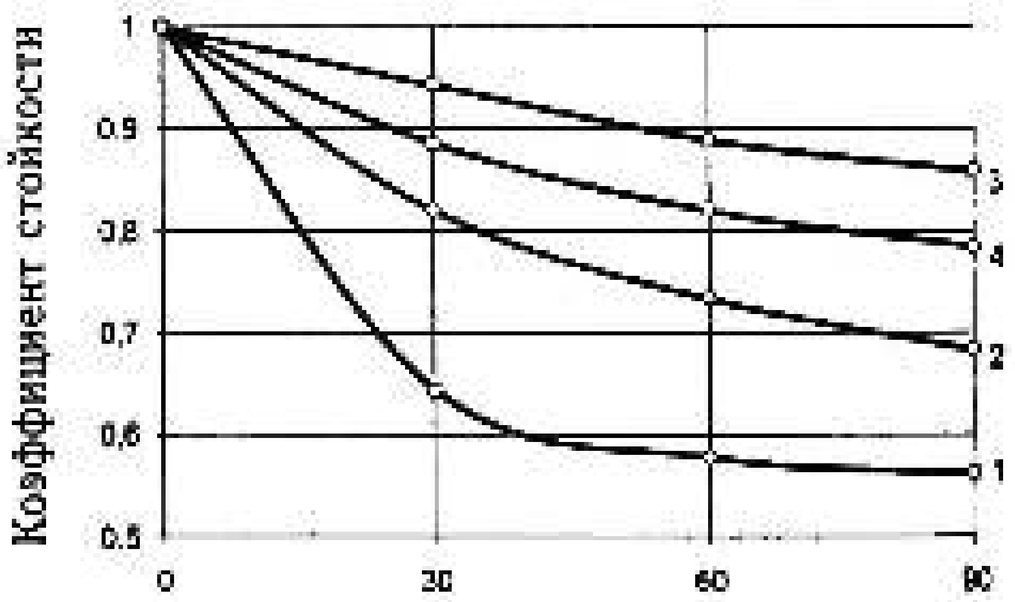
Зависимость изменения стойкости связующих в 10 % растворе NaOH;
———— составы, отвержденные в условиях термовлажностной обработки;
- - - - - - - - - составы, отвержденные при нормальных условиях;
1 — состав с керамзитовой пылью; 2 — то же с бинарной добавкой (керамзит + + известняк в соотношении 1 : 1); 3 — то же с мелом



Длительность выдерживания, сут

Рисунок 4

Зависимость изменения коэффициента стойкости в 10 % растворе H_2SO_4 от длительности выдерживания;
———— составы, отвержденные в условиях термовлажностной обработки;
- - - - - - - - - составы, отвержденные при нормальных условиях;
1 — состав с керамзитовой пылью; 2 — то же с бинарной добавкой (керамзит + + известняк в соотношении 1 : 1); 3 — то же с мелом



Длительность выдерживания, сут

Рисунок 5

Зависимость изменения коэффициента стойкости композитов с барийсодержащей добавкой в 10 % растворе H_2SO_4 от длительности выдерживания.
1 — контрольный бездобавочный состав;
2 — то же с 5 мас. ч. добавки;
3 — то же с 10 мас. ч.;
4 — то же с 15 мас. ч.

вторая при нормальных температурно-влажностных условиях.

Результаты испытания, приведенные на рис. 4, свидетельствуют о значительном влиянии на стойкость в 10 % растворе серной кислоты способа отверждения композиций. Как следует из графика, лучшие показатели химической стойкости в 10 % растворе H_2SO_4 присущи составу, отвержденному в условиях термовлажностной обработки, в котором в качестве активной минеральной добавки использовался молотый керамзит. После 90 суток выдерживания в среде данная композиция имела коэффициент химической стойкости более 0,6. Все составы, отвержденные при нормальных условиях, разрушились полностью в течение первых 5—10 суток.

Столь резкое отличие химической стойкости составов при воздействии на них кислой среды от способа отверждения можно объяснить тем, что при твердении в нормальных условиях значительное количество вводимой извне щелочи оказывается несвязанной. Свободная щелочь определяет большую скорость протекания химических процессов, способствующих разрушению структуры материала.

С целью повышения стойкости материала в условиях воздействия жидких кислых сред, в частности растворов серной кислоты, была рассмотрена барийсодержащая добавка. Известно, что при взаимодействии бария с сульфатами образуется очень плотная нерастворимая соль $BaSO_4$.

Исследования по выявлению влияния добавки на прочностные характеристики составов показали, что при введении добавки в количестве до 10 мас. ч. наблюдается лишь незначительное снижение прочности (до 15 %). Дальнейшие исследования сводились к определению химической стойкости модифицированных составов.

Результаты, представленые на рис. 5, свидетельствуют о том, что введение барийсодержащей добавки в состав стеклощелочного связующего в количестве 10 мас. ч. увеличивает его устойчивость в условиях воздействия 10 % раствора серной кислоты на 30 %.

Долговечность и надежность строительных материалов и конструкций, эксплуатирующихся в животноводческих зданиях и птицеводческих комплексах, мясомолочных и консервных комбинатах, предприятиях микробиологической промышленности и в других отраслях, где применяются и перерабатываются органические материалы, способные быть питательной средой для различных микроскопических организмов, обусловлены степенью их защищенности от биологических повреждений. Под биоповреждениями понимают любое нежелательное изменение свойств и нарушение работоспособности материалов и конструкций в результате воздействия биологически активных сред и продуктов их жизнедеятельности. К биологически активным средам относятся бактерии, грибы, актиномицеты. Самыми активными разрушителями-микроорганизмами являются мицелиальные грибы, которые осуществляют деградацию путем непосредственного потребления материала или отдельных его компонентов как продуктов питания, а также за счет химического воздействия на материал продуктов их жизнедеятельности, к которым в первую очередь относятся органические кислоты, ферменты, аминокислоты [5]. Подсчитано, что ущерб, причиняемый зданиям и сооружениям в результате биоповреждений, составляет несколько десятков миллиардов долларов ежегодно.

Поселяясь на поверхности строительных конструкций, микроорганизмы, наряду с разрушающим воздействием, вызывают ухудшение экологической ситуации в зданиях и сооружениях (приводят к возникновению запаха плесени в помещениях и выделяют токсичные продукты, аллергены), что может быть причиной серьезных заболеваний, так как некоторые виды микроорганизмов являются патогенными по отношению к человеку и животным. Например, специальный журнал Европейского медицинского общества сообщает, что попавшие в человеческий организм мельчайшие дозы грибкового яда могут вызвать через несколько лет появление раковых опухолей; финскими специалистами подсчитано, что на лечение одного больного с аллергическими заболеваниями затрачивается в год около 3 400 долл. Из вышеизложенного следует, что риск возникновения и развития биоповреждений должен быть исключен на самой ранней стадии, т. е. уже при проектировании зданий и сооружений. В этой связи создание строительных материалов и конструкций с улучшенным биологическим сопротивлением является важной задачей в области строительного материаловедения.

Таблица 2

Результаты исследования грибостойкости компонентов связующих

Наименование материала	Степень обрастания грибами в баллах		Характеристика по ГОСТ
	Метод 1	Метод 3	
Известняк	2	5	Грибостоек
Кирпичная пыль	4	5	Негрибостоек
Порошок стекла	2	5	Грибостоек
Керамзитовый порошок	2	5	Грибостоек
Глина	3	5	Негрибостоек
Шлак	2	5	Грибостоек
Гипс	1	5	Грибостоек

Таблица 3

Результаты исследования грибостойкости компонентов связующих на основе боя стекла

Наименование материала	Степень обрастания грибами в баллах		Характеристика по ГОСТ
	Метод 1	Метод 3	
Стеклощелочное связующее: 1) с молотым кирпичом	0	0	Фунгицидеи
2) с молотой глиной	0	3	Грибостоек
3) с молотым керамзитом без добавки	0	0	Фунгицидеи
с добавкой: а) шестиводного хлорида алюминия	0	3	Грибостоек
б) алюмината натрия	0	0	Фунгицидеи
в) ацетона	0	0	Фунгицидеи

Исследование биологического сопротивления связующих на основе боя стекла осуществлялось в соответствии с ГОСТ 9.049-91.

Результаты исследований степени обрастания грибами компонентов, входящих в состав связующих и непосредственно самих отвержденных композиций, приведены в табл. 2 и 3.

Как показывают результаты исследований, компоненты связующих не обладают

фунгицидными свойствами, однако известняк, молотое стекло, молотый керамзит, полуводный гипс являются грибостойкими. За счет того, что затворение композиций осуществляется щелочным раствором, водородный показатель среды возрастает до значений, неблагоприятных для роста и размножения микроорганизмов, что значительно повышает их биологическое сопротивление. Как видно из табл. 2, большинство исследованных составов обладает фунгицидными свойствами. Наиболее ярко они выражены у состава с добавкой ацетона (радиус зоны ингибирования роста грибов 12 мм).

Выводы:

1. Показана возможность использования боя стекла для получения безавтоклавных строительных композитов.

2. Исследованы процессы структурообразования строительных материалов на основе стеклощелочного связующего.

3. Разработана технология получения и исследованы физико-технические свойства строительных материалов различного назначения на основе стеклощелочного связующего.

4. Получены количественные зависимости изменения коэффициента стойкости связующих на основе бой стекла в воде, в водных растворах кислот и щелочей.

5. Выявлено, что значительное влияние на показатели стойкости оказывает способ отверждения. При этом лучшие показатели характерны для составов, отвержденных в условиях термовлажностной обработки.

6. Подобраны модифицирующие добавки, позволяющие повысить стойкость связующих в воде и водных растворах кислот и в условиях воздействия микроорганизмов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бадовска Г.** Антикоррозионная защита зданий / Г. Бадовска, В. Данилецкий, М. Минчинский ; пер. с польск. — М. : Стройиздат, 1978. — 308 с.

2. **Вербецкий Г. П.** Прочность и долговечность бетона в водной среде / Г. П. Вербецкий. — М. : Стройиздат, 1976. — 128 с.

3. **Ерофеев В. Т.** Строительные композиты на основе техногенных отходов / В. Т. Ерофеев, А. Д. Богатов // Вестник отделения строительных наук РААСН. — 1999. — Вып. 2. — С. 142—150.

4. Жаростойкие бетоны на основе композиций из природных и техногенных стекол / Ю. П. Горлов, А. П. Меркин, М. И. Зейфман, Б. Д. Тотурбиев. — М. : Стройиздат, 1986. — 144 с.

5. **Каневская И. Г.** Биологическое повреждение промышленных материалов / И. Г. Каневская. — Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1984. — 230 с.

6. **Меркин А. П.** Бетоны и изделия на основе кислых вулканических стекол / А. П. Меркин, М. И. Зейфман // Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции : тез. докл. Всесоюз. науч. конф. — Киев, 1979. — С. 15—16.

7. **Подвальный А. М.** Разрушение нагруженного бетона в коррозионной среде / А. М. Подвальный // Защита строительных конструкций промышленных зданий от коррозии. — М. : Стройиздат, 1973.

8. **Соломатов В. И.** Цементные композиты, наполненные стеклобоем / В. И. Соломатов, В. Т. Ерофеев, Е. А. Митина // Изв. вузов. Стр-во. — 1997. — № 9. — С. 72—76.

9. **Соломатов В. И.** Технология изготовления бетонов на основе техногенных отходов / В. И. Соломатов, В. Т. Ерофеев, А. Д. Богатов // Збірник наукових праць. Друга Всеукраїнська науково-технічна конференція «Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону». — Київ, 1999. — С. 381—382.

10. **Туркова З. А.** Микрофлора материалов на минеральной основе и вероятные механизмы их разрушения / З. А. Туркова // Микология и фитопатология. — 1974. — Т. 8, вып. 3. — С. 219—226.

11. **Цилосани З. Н.** Усадка и ползучесть бетона / З. Н. Цилосани. — Тбилиси : Изд. АН ГрузССР, 1963.

Поступила 16.09.06.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

В. П. Селяев, Т. А. Низина

В статье ставится проблема комплексной оценки качества строительных материалов и изделий. Программные комплексы «Идентификация и анализ пористости строительных материалов», «Анализатор распределения частиц наполнителя по размерам» и «Статистический анализ цветовых составляющих лакокрасочных покрытий», разработанные на кафедре строительных конструкций Мордовского государственного университета, позволили добиться высокой эффективности по сравнению с традиционными методами компьютерных технологий для анализа характеристик строительных материалов. В основе математических моделей лежит возможность получения растрового изображения структуры материала методом прямого сканирования с последующей идентификацией и обработкой полученных результатов.

Повышение качества выпускаемой продукции и ее конкурентоспособности — важные задачи строительной индустрии. В настоящее время для комплексной оценки качества строительных материалов и изделий необходимо выполнить множество разнообразных экспериментальных исследований, однако их проведение требует значительных материальных и временных ресурсов. Поэтому очень часто для экономии времени и средств приемочный контроль, в том числе и на предприятиях стройиндустрии Республики Мордовия, осуществляется в недостаточном объеме. Кроме того, лабораторные базы предприятий нередко не имеют оборудования, необходимого для комплексного исследования, что в итоге не может не сказаться на качестве получаемых изделий и, следовательно, не позволяет кардинально повысить конкурентоспособность продукции. В то же время производитель обязан выпускать продукцию, отвечающую установленным техническим нормам, используя различное, меняющееся от партии к партии, сырье.

Кардинального улучшения сложившейся ситуации можно достигнуть путем привлечения современных компьютерных технологий для оценки свойств выпускаемой продукции. Накопленный опыт в этой области свидетельствует о высокой эффективности компьютерных технологий по сравнению с традиционными методами. Потребность в таких продуктах существует и будет расти.

В наши дни в связи с активным развитием компьютерных технологий появились дополнительные возможности для анализа характеристик строительных материалов и получения экспресс-информации, не уступающей по достоверности традиционным методикам. На основе уже имеющихся наработок [9] и появившихся технических возможностей на кафедре строительных конструкций Мордовского государственного университета разработаны программные комплексы «Идентификация и анализ пористости строительных материалов», «Анализатор распределения частиц наполнителя по размерам» и «Статистический анализ цветовых составляющих лакокрасочных покрытий». В основе математических моделей разработанных программных комплексов лежит возможность получения растрового изображения структуры материала методом прямого сканирования с последующей идентификацией и обработкой результатов. Получены свидетельства об официальной регистрации программных комплексов [5; 6; 8]. Для реализации математических моделей использовался язык программирования Borland Delphi 7, возможные операционные системы — Windows 98/Me/2000/XP.

Известно, что одним из основных параметров, оказывающих существенное влияние на прочностные, теплотехнические и сорбционные характеристики цементного камня, раствора и бетона, является пористость. Особое значение характеристики поровой структуры имеют при оценке свойств как тяжелых бетонов, так и пенобетонов. В настоящее время существует более десяти методов оценки порового пространства строительных материалов. Несмотря на многообразие известных методов, все они достаточно трудоемки и требуют создания или закупки специальных установок. Кроме того, получаемые результаты существенно зависят от используемого метода

исследования и порой не являются достоверными (например, в случае значительного объема закрытых пор и т. д.).

Программный комплекс «Идентификация и анализ пористости строительных материалов» обеспечивает выполнение следующих функций:

— идентификация поровой структуры строительных материалов методом прямого сканирования (рис. 1);

— возможность установления порога интенсивности, позволяющего распознавать границы пор при различных цветовых соотношениях пор и поверхности образца;

— выполнение операции «инверсии результатов» в случае, когда поры идентифицировались как белый цвет, а фон — как черный;

— получение и сохранение преобразованных изображений структуры материала в широком диапазоне графических форматов;

— обработка полученных результатов (перевод размера пор из пикселей в микроны, вычисление эквивалентного радиуса пор, определение абсолютной и относительной суммарной пористости, а также относительной доли пор к исследуемой поверхности как для всего образца, так и в пересчете на 1 квадратный сантиметр);

— вывод результатов анализа в виде таблиц и графических зависимостей;

— возможность передачи выходных данных в Microsoft Word и Excel, а также сохранения графических зависимостей в графических форматах BMP, JPEG, TIFF, WMF, PCX, AFI и буфере обмена для использования в других программах-редакторах.

Кроме суммарной пористости, разработанный программный комплекс дает возможность исследовать распределение пор по размерам, т. е. оценивать дифференциальную пористость, что практически невозможно или крайне затруднительно при использовании других методов. Обычно на практике при определении диаметра пор или размера частиц используют специальные шкалы в виде ряда кругов различного диаметра, наносимые на фотографии или окуляр микроскопа. При этом наиболее удобно поры неправильной формы приравнять к кругу эквивалентной площади. В результате для описания распределения пор по поверхности шлифа используют эквивалентные радиусы или диаметры.

Для удобства анализа полученных результатов все поры были сгруппированы в пять различных по размерам групп:

I — микропоры размером менее 10 мкм;

II — микропоры размером от 10 до 49 мкм;

III — средние поры размером от 50 до 99 мкм;

IV — средние поры размером от 100 до 199 мкм;

V — макропоры размером более 200 мкм.

Разделение пор по размерам осуществлялось на основе известной и широко применяемой классификации пор по их происхождению [10]. Гистограммы распределения относительной суммарной пористости от эквивалентного радиуса показаны на рис. 2.

С учетом широких технических возможностей разработанного программного комплекса перед проведением основных исследований поровой структуры мелкозернистых бетонов отработана предлагаемая методика и выявлены факторы, существенно влияющие на получаемые результаты [4].

Проведенные исследования показали, что важнейшее требование, предъявляемое к выбору поверхностей для сканирования, заключается в том, чтобы изучаемый образец был типичным. При этом недостаточно исследовать большое число сечений, полученных на одном образце. Более точные результаты получают при измерении пусть даже меньшего количества сечений, но с нескольких образцов. Необходимо также учитывать, что для оценки поровой структуры размер анализируемых фрагментов должен быть достаточным для получения характерного распределения пор по эквивалентным радиусам. С увеличением разброса пор количество, размер сечений и величину разрешения при сканировании, как правило, также необходимо повышать.

В качестве иллюстрации применения разработанного комплекса приведем анализ изменения пористости мелкозернистых бетонов от водоцементного отношения. В ходе эксперимента исследовалось изменение интегральной и дифференциальной пористости песчано-цементных композитов с В/Ц = 0,48; 0,55; 0,65; 0,75 и 0,82. Разрешение сканируемых поверхностей составило 2 400 dpi, размеры сечений — 3 × 3 см.

По результатам обработки исследуемых составов получены зависимости частоты появления пор различного эквивалентного радиуса (рис. 3), анализ которых показал, что для состава с минимальным В/Ц-отношением (0,48) наблюдается наибольший разброс пор по размерам. Увеличение В/Ц-отношения до 0,55÷0,75 способствует значительному повышению доли пор с эквивалентным радиусом в пределах 70÷150 мкм.

Полученные в ходе использования разработанного программного комплекса результаты хорошо согласуются с известными положениями о влиянии водоцементного отношения на пористость цементных композитов. Так, для оптимально запроектированных составов характерно наличие минимальной пористости с наиболее равномерным распределением пор по размерам, а также увеличение доли микропор и пор среднего эквивалентного радиуса.

Анализируя результаты, полученные в ходе экспериментальных исследований [2; 3; 7], можно сделать вывод, что разработанный программный комплекс обладает рядом неоспоримых преимущества при оценке поровой структуры строительных материалов. Реализуемый в программном комплексе подход позволяет получать достоверную информацию об объекте исследования в короткие сроки без дополнительных материальных затрат на проведение эксперимента и закупку оборудования; оценивать влияние сырьевых компонентов и технологических факторов на характеристики поровой структуры строительных материалов; получать экспериментальные данные для математического моделирования теплотехнических, сорбционных и прочностных характеристик строительных материалов и изделий.

В последние годы значительно расширился ассортимент строительных материалов, содержащих дисперсные наполнители с различным размером частиц. Если частицы являются одинаковыми правильными сферами, для точного описания распределения частиц по размерам необходимо знать лишь их диаметр. Однако на практике форма частиц наполнителя часто неправильная, поэтому методика определения их размеров, достоверная для одних видов наполнителей, порой становится недостаточно точной для других.

До недавнего времени оптическая и электронная микроскопия являлись практически единственными методами измерения, которые позволяли установить полное распределение частиц по размерам. К сожалению, существующие современные зеркальные анализаторы изображения, присоединяющиеся к оптическому или электронному микроскопу или работающие по фотографиям измеряемых частиц, очень дороги и практически недоступны для широких исследований. Однако необходимость в подобных исследованиях существует. Результатом работы в данном направлении стало создание программного комплекса «Анализатор распределения частиц наполнителя по размерам» [5]. Интерфейс разработанного программного комплекса представлен на рис. 4.

Программный комплекс обеспечивает выполнение следующих функций:

— идентификация частиц наполнителя методом прямого сканирования;

— возможность установления порога интенсивности, позволяющего увеличивать четкость и контрастность при распознавании частиц наполнителя различных цветов;

— выполнение операции «инверсия результатов» в случае, когда частицы идентифицировались как белый цвет, а фон — как черный;

— получение и сохранение преобразованных изображений в широком диапазоне графических форматов; обработка полученных результатов (перевод размера частиц из пикселей в микроны, вычисление эквивалентного радиуса частиц, подсчет и построение гистограмм распределения с возможностью изменения шага, проверка гипотез для нормального и логарифмически нормального распределений с помощью критерия λ^2);

— множественный анализ, позволяющий обрабатывать до 25 файлов одновременно;

— вывод результатов анализа в виде таблиц и графических зависимостей;

— возможность передачи выходных данных в Microsoft Word и Excel, а также сохранения графических зависимостей в графических форматах BMP, JPEG, TIFF, WMF, PCX, AFI и буфере обмена для использования в других программах-редакторах.

Для иллюстрации работы программного комплекса приведем результаты исследования кварцевого песка шести различных фракций: 0,04÷0,071; 0,071÷0,112; 0,112÷0,18; 0,18÷0,28;

0,28÷0,45; остаток на сите 0,45. Плотность распределения площадей частиц наполнителей различных фракций показана на рис. 5 *а*. Зная площади частиц и предполагая, что их форма близка к правильной сфере, можно легко перейти к эквивалентному радиусу или диаметру, дающим площадь, равную проекции частиц (рис. 5 *б*).

Наиболее точные выводы о форме исследуемых частиц, на наш взгляд, можно получить, используя соотношение периметра к квадратному корню площади [4]. Учитывая, что природные частицы наполнителей достаточно часто близки по форме к эллипсоидам, а их проекции при сканировании представляют собой эллипсы соответственно с площадью $S = \pi \cdot a \cdot b$ и периметром $P = \pi \cdot [1{,}5 \cdot (a + b) - \sqrt{a \cdot b}]$, где a и b — максимальный и минимальный радиусы, можно оценить не только размер, но и форму изучаемых частиц.

Анализ обработки результатов сканирования кварцевого песка различных фракций показал [4], что частицы сферической формы наблюдаются лишь для небольшой части песка фракции 0,04÷0,071. С повышением размера зерна наполнителя отношение периметра частицы к квадратному корню охватываемой площади повышается, что свидетельствует об увеличении отклонения формы зерен наполнителей от сферической.

Разработанный программный комплекс дает возможность получать достоверную информацию о распределении формы и размеров частиц наполнителей без закупки дорогостоящего электронного оборудования. Внедрение данного программного продукта позволит исследователям и производителям строительных материалов и изделий получать комплексную оценку используемых наполнителей.

Качество декоративных покрытий принято определять по внешнему виду, цвету, блеску. Как известно, с течением времени под воздействием климатических факторов — солнечной радиации, перепада температур, повышенной влажности, атмосферной пыли и грязи и т. д., а также различных агрессивных сред — происходит разрушение покрытий, начинающееся, как правило, с изменения декоративных характеристик.

Оценку цвета лакокрасочных покрытий при этом, как правило, предлагается выполнять визуально и оценивать по пятибалльной шкале или по результатам, получаемым с помощью спектрофотометров или колориметров. Широкое применение для количественного измерения цвета получила колориметрическая система, утвержденная Международной осветительной комиссией (МОК) в 1931 г. Кроме колориметрической системы, цвет можно измерить с помощью цветового тона, чистоты цвета, коэффициента отражения и яркости [1]. При одинаковых значениях доминирующей длины волны, чистоты цвета и коэффициента яркости или отражения покрытия должны иметь один и тот же цвет. Однако установлено, что между цветовым ощущением человека и спектральным составом цвета нет прямой связи. Исследования цвета лакокрасочных покрытий показали, что данные цветовые характеристики не всегда дают правильное представление о его цветовом тоне, насыщенности и светлоте. Если расположить образцы в ряд по возрастанию длин волн, то оказывается, что они не воспроизводят равномерный ряд цветов покрытий, получаемый в результате визуального осмотра. К тому же использование колориметров и спектрофотометров при приемочном контроле качества защитно-декоративных покрытий и проведении исследовательских работ представляет определенные трудности, связанные с длительностью и дефицитом средств измерения.

Для решения этой проблемы в последние годы все чаще предлагается использовать компьютерные технологии. В основе предлагаемых подходов лежит возможность получения растрового изображения структуры материала при сканировании изучаемой поверхности, выражаемой в виде функции цвета. В цветном варианте сканирования при использовании определенной цветовой модели, под которой подразумевается способ формального описания цвета на основе составляющих его компонентов, появляется возможность разложить каждый цвет на составляющие и спектры определенной частоты, анализ которых дает возможность получить объективные данные о декоративных характеристиках лакокрасочного покрытия.

Несмотря на схожесть подходов к оценке свойств лакокрасочных покрытий методом прямого сканирования поверхности образцов, для описания цвета используются различные цветовые модели: Lab, CMYK, HSB, RGB

и т. д. При этом, на наш взгляд, несомненно, что пигментные краски, используемые в строительстве, так же как и краски, используемые в полиграфии, отражают световое излучение и должны описываться субтрактивной моделью CMYK. Для оценки CMYK-составляющих (голубой, пурпурной, желтой и черной) и яркости в разработанном программном комплексе «Статистический анализ цветовых составляющих лакокрасочных покрытий» (рис. 6) использовалась цветовая палитра с 256 цветами.

Программа включает в себя следующие блоки:

а) оцифровка в режиме CMYK-формата:

— загрузка исходных файлов (предпочтительнее в формате PSD), полученных методом прямого сканирования (для удобства реализован принцип множественного выбора);

— возможность (при необходимости) добавления, изменения или убавления количества параллельно анализируемых поверхностей (максимальное число параллельно обрабатываемых файлов — 25);

— подсчет количества пикселей одного и того же уровня для каждой цветовой составляющей;

— графическое представление распределения цветовых составляющих в виде гистограмм для каждой сканируемой поверхности (рис. 7);

— формирование базы данных для построения поверхностей распределения цветовых составляющих в зависимости от координаты каждого пикселя.

б) обработка полученных результатов:

— определение среднего арифметического, дисперсии и среднего квадратичного отклонения для каждой цветовой составляющей каждого образца в отдельности;

— выполнение статистической обработки результатов — определение минимальной и максимальной величины доверительного интервала с учетом заданной доверительной вероятности (по умолчанию принято 0,95) и среднего арифметического после отбрасывания «незначимых» значений для каждого цветового уровня;

— построение сводных гистограмм изменения частоты появления от уровня цветовых составляющих для всех параллельно обрабатываемых образцов после статистической обработки (см. рис. 7);

— возможность передачи выходных данных в Microsoft Word и Excel, а также сохранения графических зависимостей в графических форматах и буфере обмена для использования в других программах-редакторах.

Использование программного комплекса «Статистический анализ цветовых составляющих лакокрасочных покрытий» дает возможность проанализировать влияние компонентов смеси (наполнителей, пигментов, красителей и т. д.) и оценить их влияние на величины цветовых составляющих лакокрасочных покрытий, выявить однородность окраски, а также оценить изменение цвета лакокрасочного покрытия под действием климатических факторов. Применение методов статистической обработки позволяет получить объективную информацию по изменению декоративных характеристик покрытий, что особенно важно при нанесении красочных составов на бетонные поверхности, обладающие значительной неоднородностью структуры и большим количеством дефектов.

Обработка полученных результатов при помощи современных высокоскоростных ЭВМ позволяет исключить множество трудоемких операций и открывает возможность использования разработанных комплексов в самых разнообразных исследовательских целях. Потенциальными потребителями являются предприятия, выпускающие строительную продукцию (в том числе и лакокрасочную), научно-исследовательские лаборатории и сертификационные центры.

Как показывает отечественный и мировой опыт производства строительных материалов, изделий и конструкций, постоянный контроль качества является необходимой составляющей производственного процесса. В наше время выпуск высококачественной, конкурентоспособной продукции возможен только на тех предприятиях, где действует отлаженная система приемочного контроля, основанная на современных методах исследования, в том числе компьютерных технологиях.

Использование разработанных программных комплексов на предприятиях стройиндустрии позволит получать комплексную информацию о выпускаемой продукции в короткие сроки с минимальными материальными затратами на проведение исследований, так как отпадает необходимость в дорого-

Рисунки к статье В. П. Селяева и Т. А. Низиной «Компьютерные технологии для анализа структуры и свойств строительных материалов и изделий»

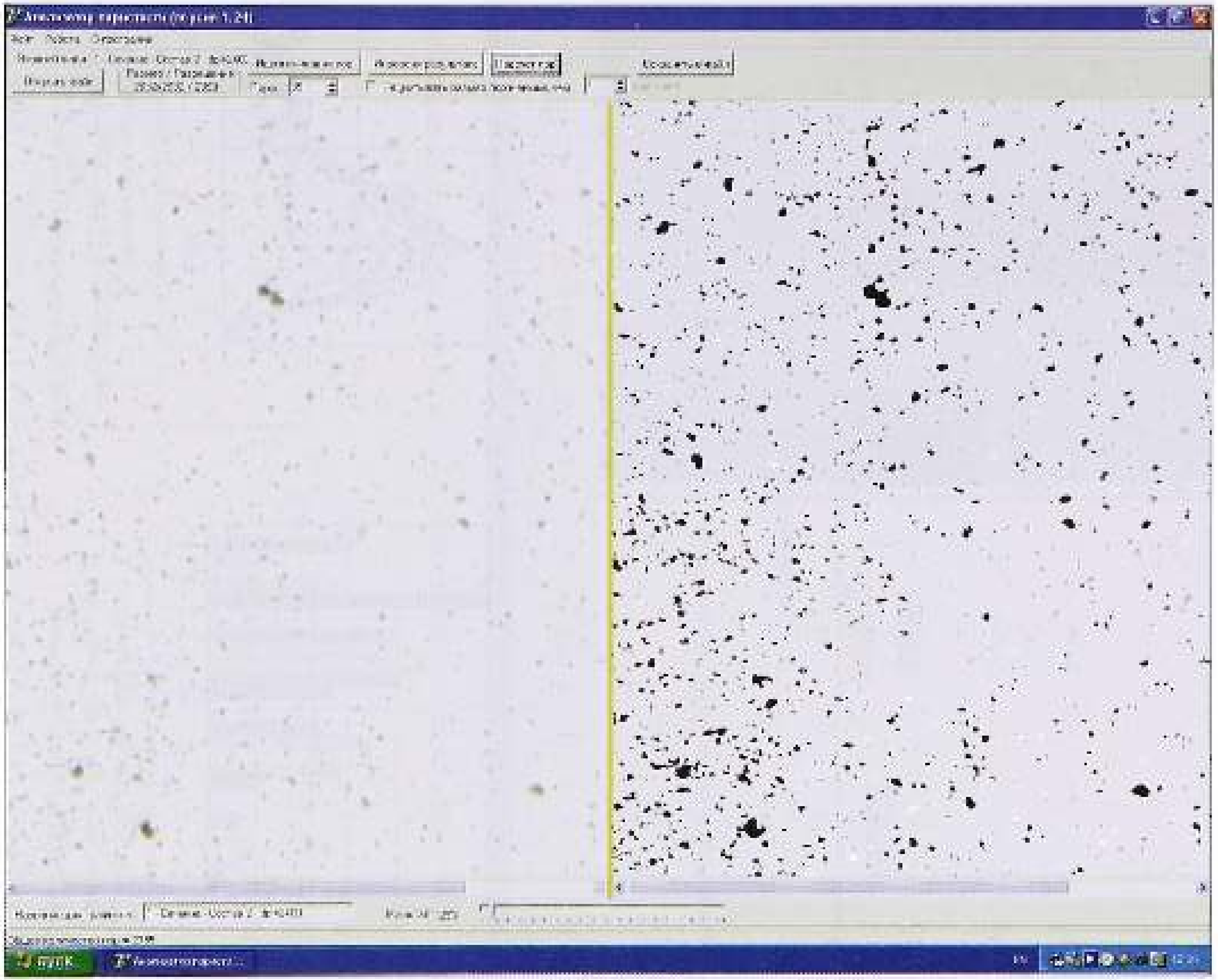


Рисунок 1

Интерфейс программного комплекса «Идентификация и анализ пористости строительных материалов»

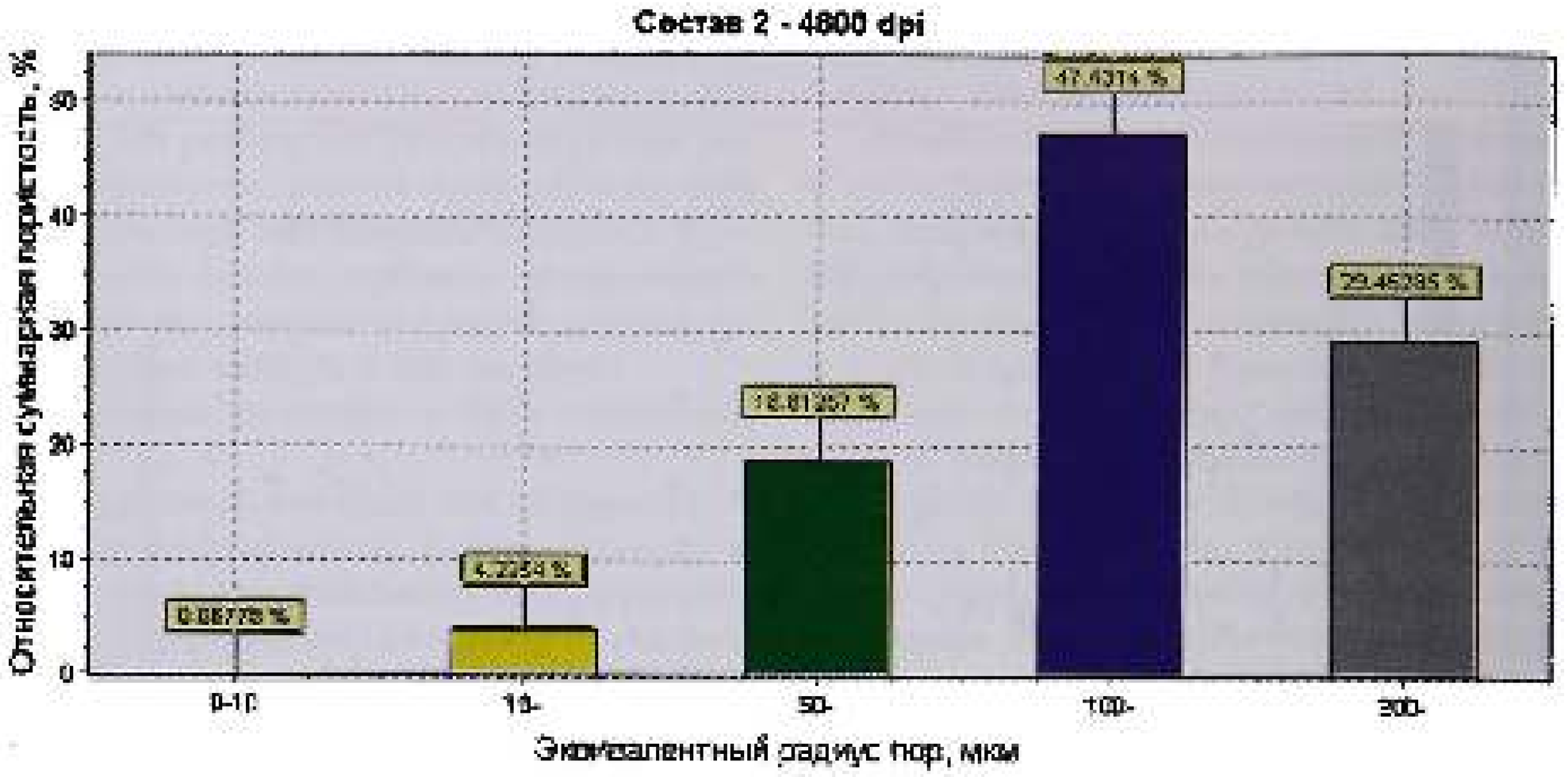


Рисунок 2

Гистограмма распределения относительной суммарной пористости от эквивалентного радиуса пор

Рисунок 3

Распределение относительной суммарной пористости от размера пор (а) и плотность распределения пор различного радиуса (б) песчано-цементных композитов с различным вяжущим отношением

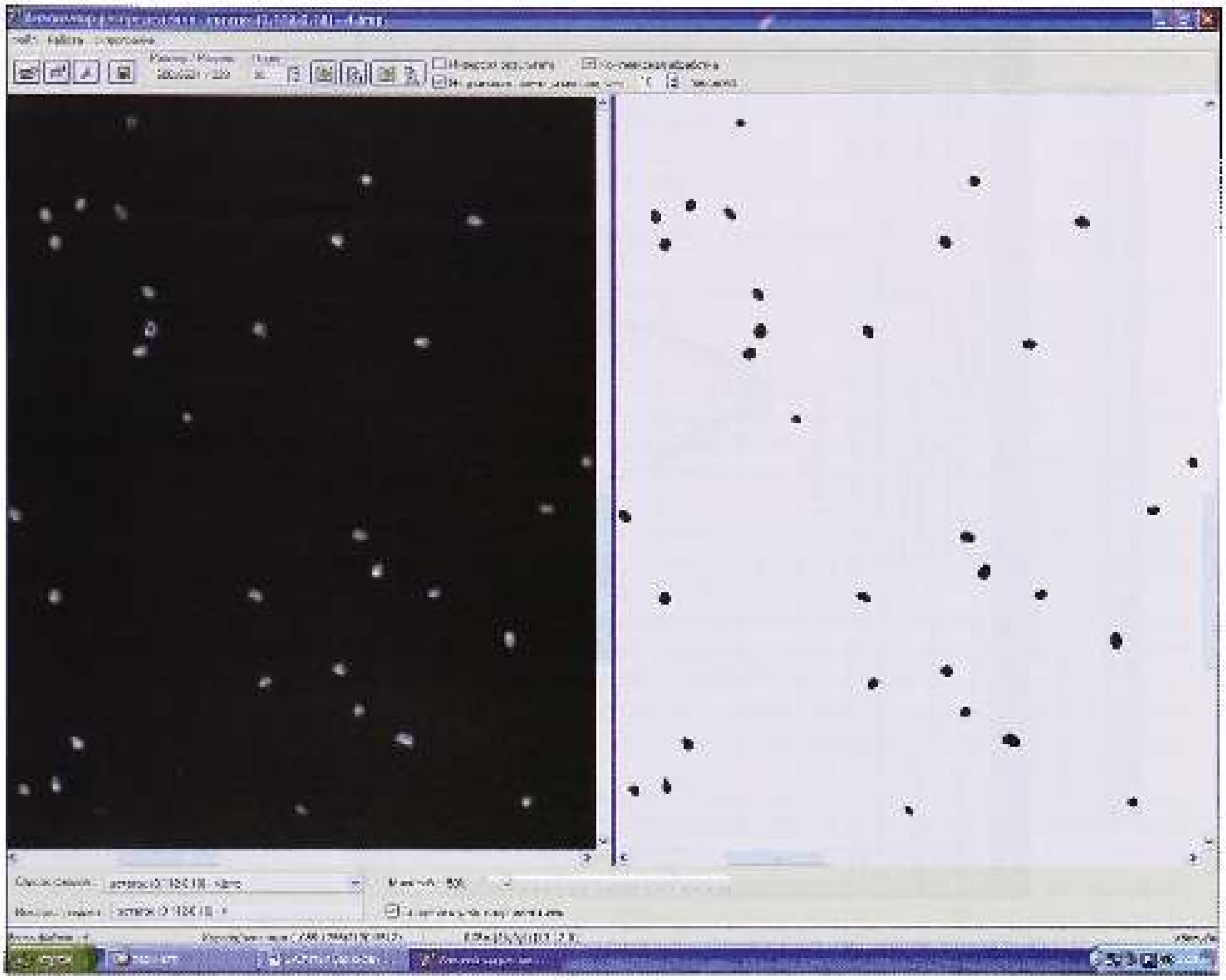


Рисунок 4

Интерфейс программного комплекса «Анализатор распределения частиц наполнителя по размерам»

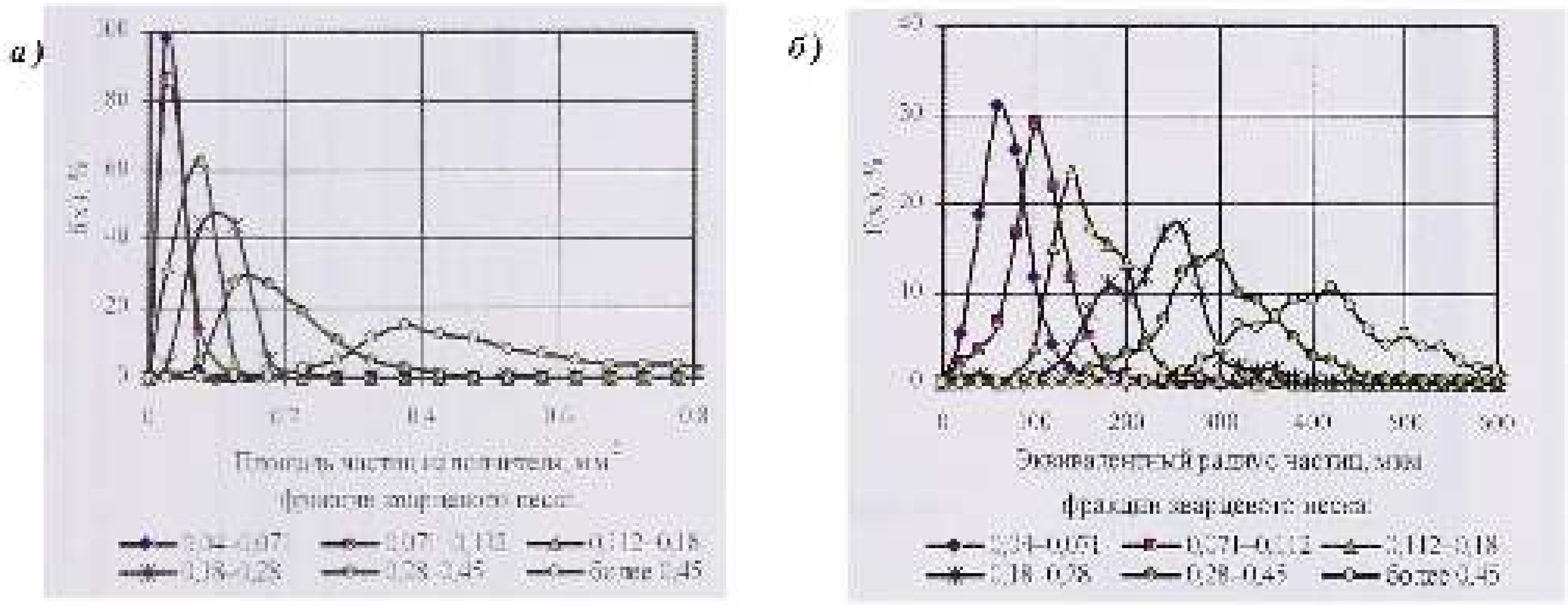


Рисунок 5

Плотность распределения площадей частиц (а)
и эквивалентных радиусов (б) кварцевого песка различных фракций

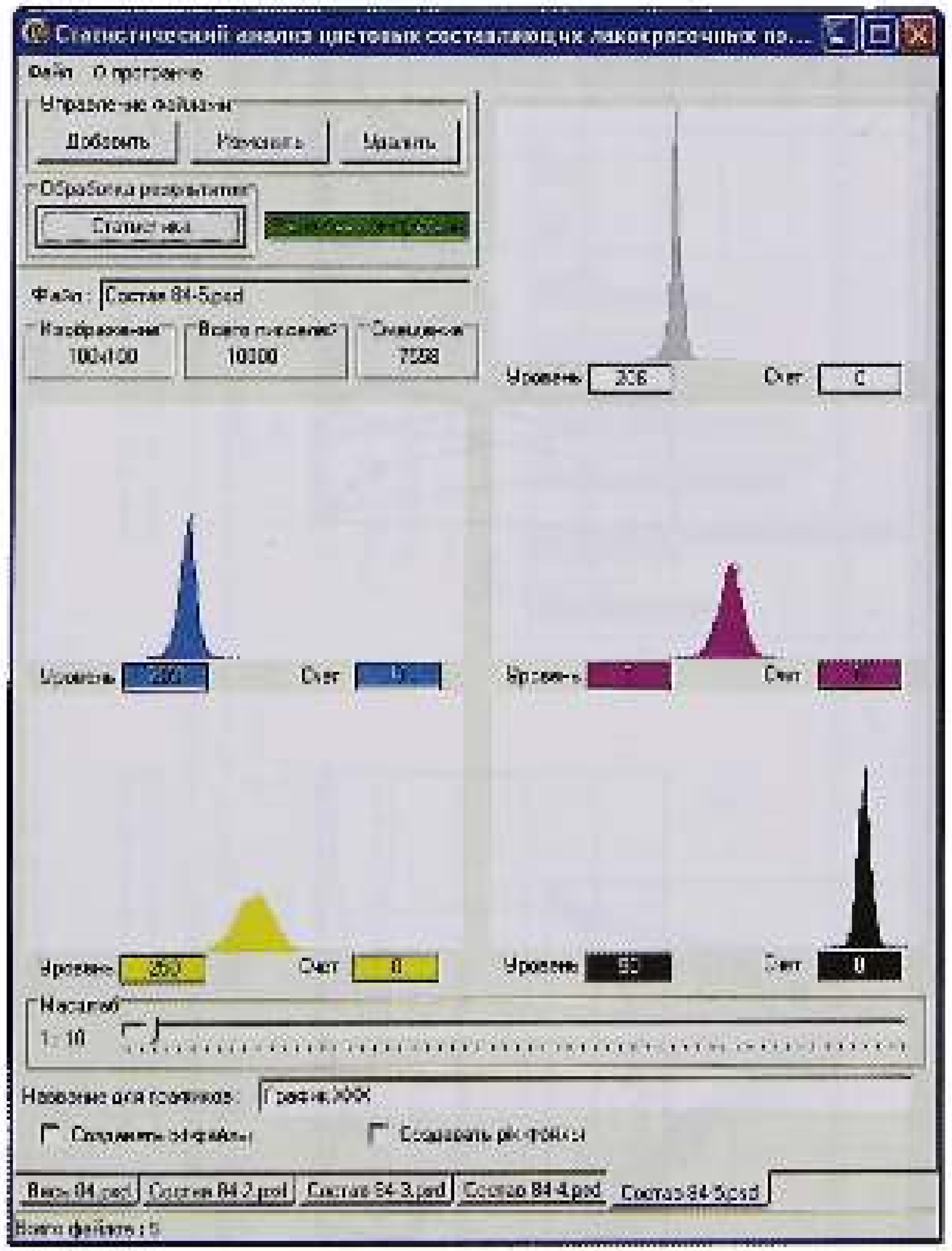


Рисунок 6

Интерфейс программного комплекса «Статистический анализ цветовых составляющих лакокрасочных покрытий»

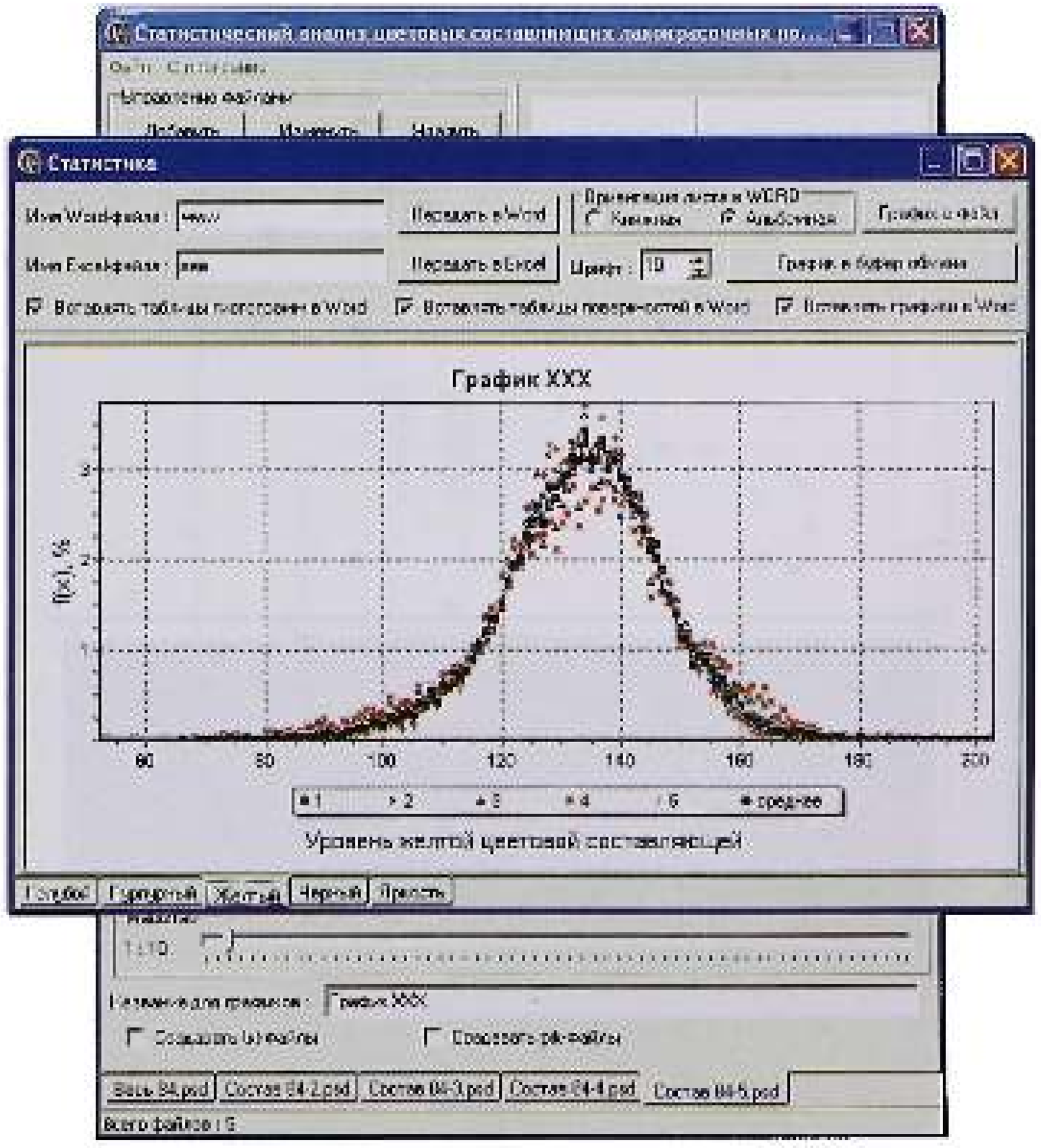


Рисунок 7

Графическое представление результатов анализа цветовых составляющих лакокрасочных покрытий

стоящем экспериментальном оборудовании и закупке расходных материалов. Внедрение данных программных продуктов позволит производителям строительных материалов и изделий выйти на новый уровень при оценке свойств строительных материалов и получить дополнительные возможности для повышения их качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Карякина М. И.** Лабораторный практикум по испытанию лакокрасочных материалов и покрытий / М. И. Карякина. — М. : Химия, 1977. — 240 с.

2. Компьютерная идентификация и анализ пористости строительных материалов / В. П. Селяев, Т. А. Низина, В. В. Цыганов, Ю. А. Ланкина // Вестн. отд-ния строит. наук. — 2006. — Вып. 10. — С. 222—226.

3. Компьютерные технологии для оценки пористости строительных материалов и изделий / В. П. Селяев, Т. А. Низина, О. А. Фролкин [и др.] // Наука и инновации в Республике Мордовия : материалы V респ. науч.-практ. конф. / под ред. В. А. Нечаева. — Саранск, 2006. — С. 332—336.

4. **Низина Т. А.** Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих / Т. А. Низина. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2007. — 258 с.

5. **Селяев В. П.** Анализатор распределения частиц наполнителя по размерам / В. П. Селяев, Т. А. Низина, В. А. Минеев // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007611001 от 6.03.2007 г. в Роспатенте по заявке № 2007610002 от 11.01.2007 г.

6. **Селяев В. П.** Идентификация и анализ пористости строительных материалов / В. П. Селяев, Т. А. Низина, О. А. Фролкин [и др.] // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006610364 от 24.01.2006 г. в Роспатенте по заявке № 2005613072 от 24.11.2005 г.

7. **Селяев В. П.** Применение компьютерных технологий для оценки свойств строительных материалов и изделий / В. П. Селяев, Т. А. Низина // Строительное материаловедение — теория и практика : сб. тр. — М., 2006. — С. 99—101.

8. Статистический анализ цветовых составляющих лакокрасочных покрытий / В. П. Селяев, Т. А. Низина, Н. О. Зубанкова, Ю. А. Ланкина // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006610820 от 28.02.2006 г. в Роспатенте по заявке № 2005613472 от 29.12.2005 г.

9. **Фролкин О. А.** Компьютерное моделирование и анализ структуры композиционных материалов : Дис. ... к. т. н. / О. А. Фролкин. — Саранск, 2000. — 223 с.

10. **Шейкин А. Е.** Структура и свойства цементных бетонов / А. Е. Шейкин, Ю. В. Чеховский, М. И. Бруссер. — М. : Стройиздат, 1979. — 344 с.

Поступила 16.09.08.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ МЕТАЛЛОБЕТОНОВ МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

П. С. Ерофеев, Г. А. Лаптев, А. И. Меркулов, В. Т. Ерофеев

В статье выполнен анализ механических испытаний образцов металлобетона. В качестве средства анализа авторами использовалась методика оптимизации, в соответствии с которой разрабатывался план опытного эксперимента с учетом получения необходимых расчетных данных для целей использования программного комплекса. Программным комплексом предусматривалось варьирование следующих факторов: вид и свойства зернистых включений и матрицы, размеры фрагмента разрушения, критериев разрушения образцов и компонентов структуры.

Выявление распределения напряжений и деформаций в композиционных материалах связано со значительными трудностями, обусловленными их специфической структурой и условиями нагружения. Поэтому в приближенных расчетах чаще используют упрощенные модели в сочетании с экспериментальными методами тестирования, например, метод конечных элементов. Развитие методов компьютерного моделирования структуры композиционных материалов повлекло за собой выполнение ряда задач, одна из которых — анализ напряжений и деформаций в зонах контакта структурных компонентов.

В данной работе выполнен анализ механических испытаний образцов металлобетона. Металлобетоном (метоном) называется материал, состоящий из минерального заполнителя (песок, щебень, гравий и т. д.) и металла, играющего роль вяжущего. В зависимости от металла метоны бывают алюминиевые, стальные, чугунные, титановые, медные, свинцовые, оловянные, цинковые и т. д. [3]. В качестве средства анализа использовалась методика оптимизации, приведенная в работе [2]. В соответствии с этой методикой разрабатывался план опытного эксперимента с учетом получения необходимых расчетных данных для целей использования программного комплекса [1]. Программным комплексом предусматривается варьирование следующих факторов: вид и свойства зернистых включений и матрицы, размеры фрагмента разрушения, критериев разрушения образцов и компонентов структуры. В процессе моделирования разрушения образцов методом итераций осуществляется подбор механических параметров компонентов. В процессе пошаговых итераций варьируются последовательно деформативные и прочностные параметры включений, зон матрицы когезии и адгезии. Условием итерации является равенство механических параметров объектов, найденных опытным путем и численным моделированием. Численные значения показателей компонентов в дальнейшем используются как параметры численного моделирования. Компоненты в структуре размещаются при помощи датчика случайных чисел согласно плану эксперимента. Интерфейсы (зоны взаимодействия) определяются соответствующими включениями: область когезии — внешняя оболочка включения, область адгезии — внешняя оболочка включения внутри матрицы. Для формирования расчетных моделей используется плоское напряженно-деформируемое состояние объекта.

Программа включает следующие функциональные блоки:

— формирования базы матриц жесткости исходной конечно-элементной модели, ее последующую поэтапную фрагментацию (степень фрагментации определяется минимальным размером элементарного фрагмента деформирования и разрушения);

— формирования структуры металлобетона (размещение включений с учетом их объемного удельного содержания и оболочек включений);

— формирования параметров состояния структуры на пути разрушения;

— циклического моделирования поэтапного деформирования и разрушения объектов (определение модуля обратимой деформации, прочности на сжатие компонентов (матрицы и

заполнителей) методом итераций для каждого пункта плана экспериментальных работ);

— тестирования найденных параметров численным моделированием комплексных объектов, содержащих совокупность включений, и определения корректировочных коэффициентов, учитывающих структурные взаимодействия между ними;

— прогнозирования значения модуля деформации и прочности на сжатие оптимизируемого состава металлобетона;

— интерполяции и экстраполяции механических параметров модифицируемых составов металлобетонов;

— формирования и вывода файлов результатов численного моделирования.

При определении механических свойств составов металлобетонов нами определялись зависимости прочности и деформативности от вида матрицы, содержания и крупности зерен заполнителя. В процессе определения механических параметров компонентов одновременно проводится анализ структурных взаимодействий между ними. Системой численного моделирования определяется характер разрушения объекта и выявляется наиболее слабый структурный компонент.

Следует отметить, что термины параметров компонентов (матрица, включения, когезия и адгезия) имеют условное значение и действуют только применительно к рассмотрению структуры объекта моделирования при анализе структурных взаимодействий. Суть их заключается в математическом решении и проведении анализа системой численного моделирования состояния объекта и его изменения при приложении нагрузки и разрушении. Это состояние выражается интерпретированными значениями механических параметров. На основе проведенных вычислений аналитическими методами система переходит к определению параметров объекта моделирования модифицируемого материала, состав которого принят в соответствии с планом намеченных исследований.

В качестве исходных расчетных данных принимались результаты лабораторных испытаний образцов составов металлобетонов с матрицей из серого чугуна марки СЧ-20 (ГОСТ 1412-85) и конструкционного алюмини-

Таблица 1

Исходные расчетные данные для моделирования структуры металлобетона на заполнителе из фарфоровых шариков

№ состава	$E_{з.ш}$, МПа	$R_{з.ш}$, МПа	$E_{м.ш}$, МПа	$R_{м.ш}$, МПа	$E_{вкл}$, МПа	$R_{вкл}$, МПа	Механические параметры объекта	
							$E_{об}$, МПа	$R_{об}$, МПа
Составы на заполнителе из фарфоровых шариков диаметром 10 мм								
1	115 000	510	—	—	40 000	38	88 500	490
2	—	—	90 000	480	40 000	38	83 600	510
Составы на заполнителе из фарфоровых шариков диаметром 6 мм								
3	115 000	510	—	—	42 000	40	90 000	490
4	—	—	90 000	480	42 000	40	84 000	520

Таблица 2

Исходные расчетные данные для моделирования структуры металлобетонов на базальтовом и диабазовом щебне

№ состава	$E_{щ.}$, МПа	$R_{щ.}$, МПа	$E_{м.ш.}$, МПа	$R_{м.ш.}$, МПа	$E_{в.}$, МПа	$R_{в.}$, МПа	$E_{ад}$, МПа	$R_{ад}$, МПа	Механические параметры объекта	
									$R_{об}$, МПа	$E_{об}$, МПа
1	115 000	510	—	—	50 000	48	—	—	420	86 000
2	—	—	90 000	480	50 000	48	—	—	510	80 000
3	115 000	510	—	—	—	—	32 000	38	410	87 000
4	—	—	90 000	480	—	—	32 000	38	490	81 000

евого чугуна марки КАЧ (ГОСТ 1412-70). Модуль упругости матриц соответственно принят: $E_{с.ч.}$ = 115 000 МПа и $E_{а.ч.}$ = 90 000 МПа, а прочность на сжатие — $R_{с.ч.}$ = 510 МПа и $R_{а.ч.}$ = 480 МПа.

В качестве заполнителя для двух групп испытаний на этих матрицах служили фарфоровые шарики диаметром 10 и 6 мм, а также диабазовый и базальтовый щебень. Исходные данные расчетов приведены в табл. 1 и 2.

В качестве объекта моделирования использовался куб с размером ребра 4 см, геометрически подобный опытному образцу при лабораторных испытаниях.

На рис. 1 и 2 приведены зависимости изменения прочности на сжатие и модули деформации металлобетонов на сером и алюминиевом чугуне от степени наполнения фарфоровыми шариками, полученные при помощи численного моделирования.

С увеличением объемного содержания заполнителя модули деформации объектов на сером и алюминиевом чугуне несколько сближаются. При этом повышение содержания фарфоровых шариков приводит к значительному снижению жесткости металлобетона.

На рис. 3 и 4 приведены зависимости изменения прочности на сжатие и модуля деформации металлобетонов на сером и алюминиевом чугуне от степени наполнения диабазовым и базальтовым щебнем, также полученные при помощи численного моделирования.

Как видно из полученных результатов, при увеличении степени наполнения заполнителем происходит снижение прочности и деформативности металлобетона. В смеси с плавающим заполнителем без контактных зон (менее 50 % по объему) зерна заполнителя раздвинуты и не взаимодействуют между собой, оказывают влияние только на прилегающую зону металла. С увеличением степени наполнения (50—65 % по объему) создаются зоны взаимодействия оболочек адгезии (интерфейсы) отдельных зерен заполнителя, перекрывающих друг друга, а матрица в виде тонких металлических пленок обволакивает частицы, не

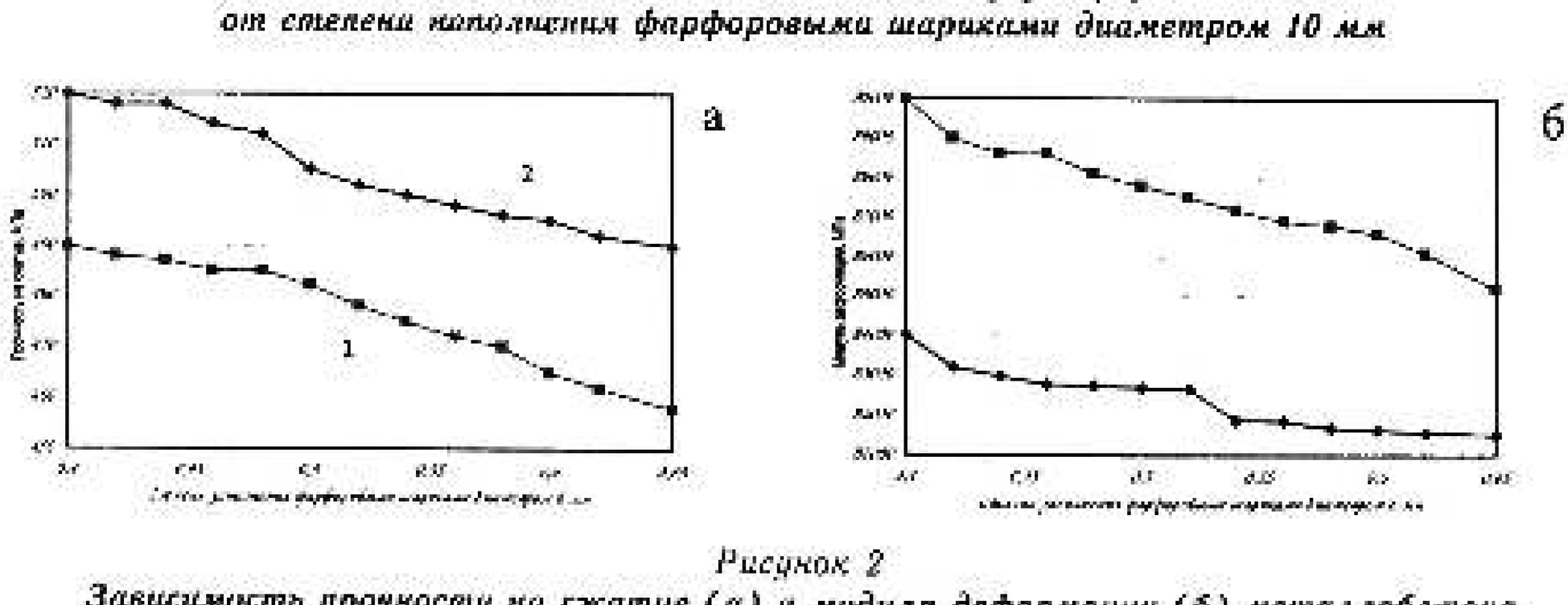


Рисунок 1
Зависимость прочности на сжатие (а) и модуля деформации (б) металлобетона на сером (1) и алюминиевом чугуне (2) от степени наполнения фарфоровыми шариками диаметром 10 мм

Рисунок 2
Зависимость прочности на сжатие (а) и модуля деформации (б) металлобетона на сером (1) и алюминиевом чугуне (2) от степени наполнения фарфоровыми шариками диаметром 6 мм

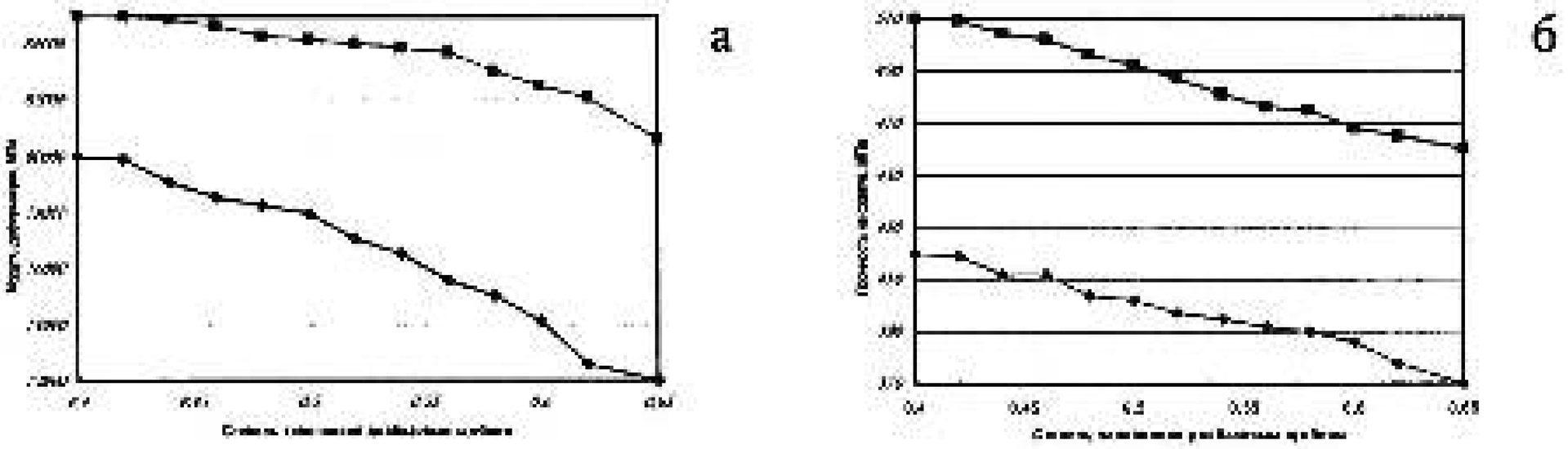


Рисунок 3

Зависимость прочности на сжатие (а) и модуля деформации (б) металлобетона на сером (1) и алюминиевом чугуне (2) от степени наполнения диабазовым щебнем

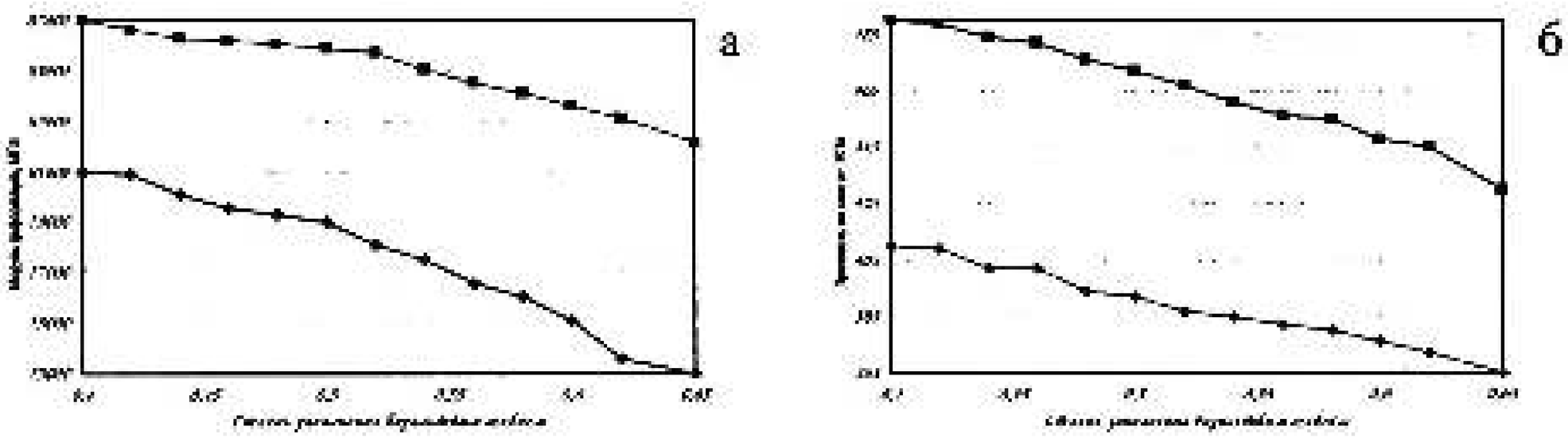


Рисунок 4

Зависимость прочности на сжатие (а) и модуля деформации (б) металлобетона на сером (1) и алюминиевом чугуне (2) от степени наполнения базальтовым щебнем

прерываясь. При степени наполнения до 50 % разрушению подвергается металлическая матрица. Критическая нагрузка, приложенная к образцу, ведет к разрушению металлической прослойки и объекта в целом. В данном случае разрушение начинается сколом материала в частной зоне. При дальнейшем увеличении содержания заполнителя нагрузка воспринимается и более слабым компонентом — фарфоровыми шариками или зернами щебня.

Таким образом, установленные численным моделированием данные повышения прочности при увеличении содержания металла и уменьшении прочности при увеличении содержания менее прочного заполнителя, а также разграничения напряжений в металлобетоне по зонам при поэтапном разрушении соответствует теории прочности бетонов на цементном связующем.

Нами проведены исследования механических свойств металлической матрицы из серого чугуна марки СЧ-20 с начальными данными $E_{с.ч.}$ = 115 000 МПа и $R_{с.ч}$ = 510 МПа. Металлическая матрица из серого чугуна в моделировании представлена как сплошная среда с включениями в виде макропор. Проводились исследования характера разрушения структуры в зависимости от скорости нагружения и размеров макропор. С увеличением размеров макропор от начальных заданных значений размеров пор, рассматриваемых как включения, увеличивается и степень концентрации напряжений, а с увеличением скорости приложения нагрузки, превышающей скорость разрушения металлической матрицы, на каждом этапе разрушения увеличивается зона разрушения или обобщенный фрагмент разрушения. Он включает все одновременно разрушаемые области на каждом этапе разрушения (процесс разрушения рассматривается поэтапно).

В качестве объекта моделирования принят образец кубической формы размером 10 × 10 × 10 см. Численное моделирование структуры однородной металлической матрицы выполнялось также с использованием методики оптимизации композиционных материалов на основе метода конечных элементов. Раз-

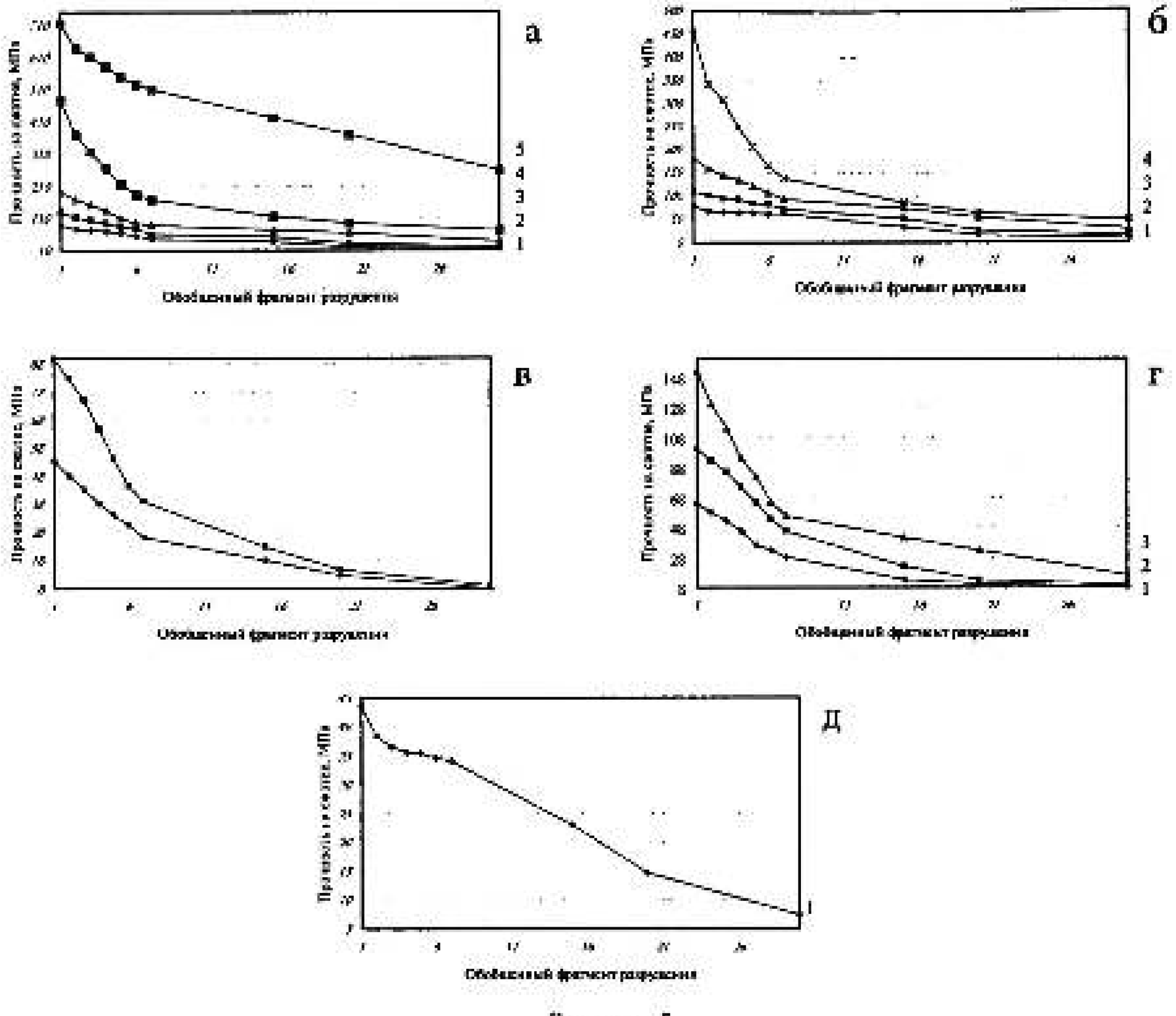


Рисунок 5
Диаграммы зависимости прочности металлической матрицы при числе циклов фрагментации конечно-элементной модели объекта: «а» — равном 8, «б» — 7, «в» — 6, «г» — 5, «д» — 4

мещение макропор при формировании структуры объекта моделирования реализуется на основе использования датчика случайных чисел. В качестве основы формирования структуры модели использовалась конечно-элементная модель, получаемая на основе поэтапной фрагментации треугольных конечных элементов. При выполнении исследований варьировалось число циклов фрагментации (при моделировании принимается 4-, 5-, 6-, 7-, 8-кратная разбивка каждого элементарного фрагмента разрушения), т. е. элементарный фрагмент разрушения определяется как конечный элемент последнего этапа фрагментации. Размер макропор определяется номером этапа фрагментации. Обобщенный фрагмент разрушения включает элементарные фрагменты разрушения, размещенные компактно или разрозненно в пределах всего объекта моделирования.

На рис. 5 приведены диаграммы зависимости прочности металлической матрицы при числе циклов фрагментации конечно-элементной модели объекта (для варианта «а» равном 8, «б» — 7, «в» — 6, «г» — 5, «д» — 4).

На всех диаграммах показаны графики зависимости для размеров пор, определенных конечным элементом — номером последнего этапа фрагментации. Таким образом, графикам 1, 2, 3, 4, 5 соответствуют номера этапов фрагментации конечных элементов — 4, 5, 6, 7, 8. При моделировании принято минимальное условное значение эффективного диаметра пор — 0,78 мм (при цикле фрагментации объекта моделирования — 8), максимальное условное значение — 12,5 мм (при цикле фрагментации объекта моделирования — 4).

На рис. 6 изображена структура металлической матрицы при формировании конечно-

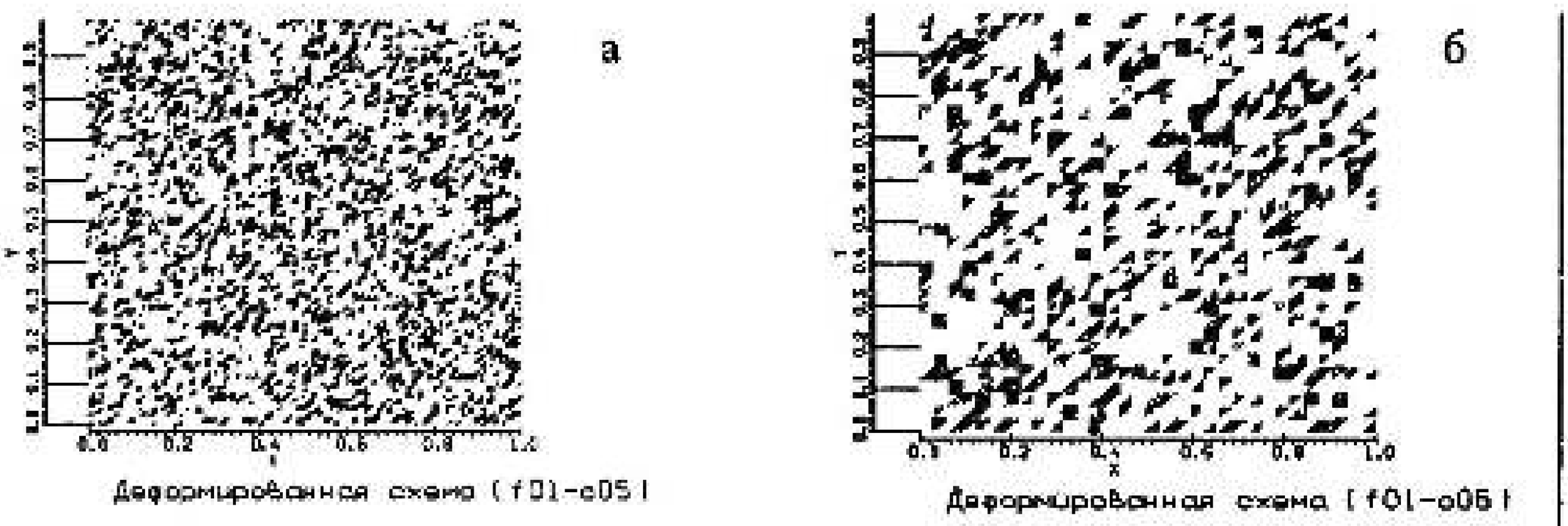


Рисунок 6

Структура пористой металлической матрицы в зависимости от числа циклов фрагментации при формировании конечно-элементной модели (а — с циклом фрагментации 8, б — с циклом фрагментации 4)

элементной модели с циклом фрагментации, равным 8 (с эффективным диаметром пор 0,78 мм), и с циклом фрагментации, равным 4 (с эффективным диаметром пор 12,5 мм).

Из графических зависимостей следует, что с увеличением количества конечных элементов обобщенного фрагмента разрушения прочность металлической матрицы, отвечающая опытной прочности образца, выплавленного из серого чугуна, уменьшается по логарифмиче-ской зависимости. Это может быть интерпретировано как зависимость прочности объекта от скорости нагружения на каждом этапе формирования пути разрушения. С увеличением размеров пор прочность матрицы уменьшается в связи с увеличением интенсивности концентрации напряжений. С уменьшением разбивки конечно-элементных моделей (уменьшением числа циклов фрагментации на диаграммах *д*—*а* с 4 до 8 (см. рис. 5) значение прочности на сжатие металлической матрицы уменьшается. На основе полученных результатов для выполнения численного моделирования рекомендуется обощенный фрагмент разрушения принять равным 7, когда прочность матрицы для наиболее мелких пор (при цикле фрагментации, равном 8) получена равной 510,7 МПа (см. рис. 5 *а*). Таким образом, значение прочности на сжатие объекта моделирования соответствует опытным данным при количестве обобщенного фрагмента разрушения, равного 7.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Модификация композиционных материалов с использованием численного моделирования. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004611079. Рос. Федерация / заявитель и правообладатель ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева» ; заявл. 3.03.2004 ; зарегистр. 29.04.2004 / В. Т. Ерофеев, И. И. Меркулов, А. И. Меркулов, П. С. Ерофеев, Е. А. Митина // Программы для ЭВМ. Базы данных топологии интегральных микросхем. — Вып. 3 (2004). — М. : ФИПС, 2004. — С. 63.

2. Оптимизация составов бетонов с применением численного моделирования : моногр. / В. Т. Ерофеев, И. И. Меркулов, А. И. Меркулов, П. С. Ерофеев. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2006. — 100 с.

3. **Соломатов В. И.** Метон — новый конструкционный материал / В. И. Соломатов, Ю. Б. Потапов // Строительные материалы. — 1978. № 3. — С. 11.

Поступила 16.09.08.

ПЛОТНОСТЬ ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИТОВ

К. С. Подшивалова, А. В. Лахно, А. А. Валюков, В. Т. Ерофеев

В статье приводятся методы определения плотностей, их анализ, сравнение расчетных значений с экспериментальными. Рассматривается связь плотности с состоянием структуры полимерного композиционного материала. Даются рекомендации по использованию методик измерения плотности композитов и его компонентов для осуществления оптимизации составов.

Плотность непосредственно связана как с состоянием структуры композитного материала (КМ) в целом, так и с состоянием его отдельных компонентов и является важным показателем. Известно, что граничные слои матрицы у поверхности частиц наполнителя обладают более высокой структурированностью, чем матрица в массиве. Это приводит к существенным изменениям в строении матрицы и оказывает непосредственное влияние на ее плотность. Кроме того, в КМ в той или иной мере развиваются процессы порообразования, влияющие в первую очередь на плотность материала.

Наиболее простым методом плотность КМ определяется в соответствии с правилом смеси, являющимся по существу соотношением аддитивности:

$$\rho_{c1} = \rho_f v + \rho_p (1 - v), \quad (0{,}65 \geq v \geq 0{,}4), \qquad (1)$$

где ρ_c, ρ_f и ρ_p — плотности композита, наполнителя и ненаполненной матрицы соответственно. Такая зависимость дает приемлемую оценку плотности лишь в середине интервала наполнения $(0{,}65 \geq v \geq 0{,}4)$.

При малом и большом содержании наполнителя проявляются краевые несоответствия, обусловленные преимущественным влиянием одной из фаз. Действительно, при малом содержании наполнителя $(0{,}4 \geq v \geq 0)$ плотность КМ в основном зависит от плотности матрицы, тогда как при высоких степенях наполнения $(0{,}87 \geq v \geq 0{,}6)$ она определяется преимущественно плотностью наполнителя.

Для малонаполненных композитов с минеральными наполнителями принимается гипотеза, что относительное уплотнение композита пропорционально объемному содержанию наполнителя:

$$\Delta \rho_c / \rho_p = (\rho_c - \rho_p) / \rho_p = v.$$

Данное соотношение приводит к простой зависимости:

$$\rho_{c2} = \rho_p (1 + v), \quad (0{,}4 \geq v \geq 0), \qquad (2)$$

особенностью которой является отсутствие величины плотности наполнителя.

Произведем анализ второго краевого решения, характерного для высоконаполненных композитов. Высокое наполнение обеспечивается полидисперсным наполнителем, для которого плотность упаковки соответствует величине $\eta = 0{,}868$. В этой связи принимается гипотеза, согласно которой плотность КМ в первом приближении не должна превышать $\rho_c \approx \eta \rho_f = 0{,}868\, \rho_f$. Иначе это выражение записывается в виде

$$\rho_c = \rho_f \left(1 - \frac{1}{a\eta}\right),$$

где $\eta = 0{,}868$, $a = 8{,}7$. Если плотность упаковки наполнителя не достигает предельной величины $(\eta = 0{,}868)$ и находится в интервале значений $0{,}87 \geq v \geq 0{,}65$, характерном для высоконаполненных КМ, приведенная зависимость принимает более общую форму:

$$\rho_{c3} = \rho_f \left(1 - \frac{1}{a\eta}\right), \quad (0{,}87 \geq v \geq 0{,}6), \qquad (3)$$

где a — постоянная величина. Отметим, что формула (3) справедлива при $v > 0{,}1$.

В аддитивном равенстве (1) не учтено то обстоятельство, что часть объема матрицы переходит в состояние уплотненных граничных слоев. Оценка усредненного значения уплотнения матрицы показала (табл.), что эффект уплотнения может достигать 7 %. Это незначительно отличается от интервала уплотнения (3÷6) %, установленного Ю. С. Липатовым [1]. Для численных оценок можно принять величину уплотнения, равную ≈ 3 %, тогда $\rho_1 \approx 1{,}03\, \rho_p$. Объемная доля граничных слоев

определяется из выражения $v_1 = 0{,}48\ v$. Тогда плотность КМ можно определить по уравнению

$$\rho_c = \rho_p v + \rho_p (1 - v - v_1) + \rho_1 v_1.$$

Несложные преобразования полученного равенства с учетом вычисленных значений ρ_1 и v_1 позволяют получить расчетную зависимость:

$$\rho_{c4} = \rho_{c1} + 1{,}44 \cdot 10^{-2} \rho_p v, \ (0{,}87 \geq v \geq 0{,}4), \quad (4)$$

где ρ_{c1} — плотность КМ по уравнению (1).

Экспериментальные исследования плотности производились на трех сериях образцов из эпоксидных (серия 1 и 3) и полиэфирных (серия 2) композитов (см. табл.). В качестве наполнителей использовались молотый кварц (серия 1), молотый кварцевый песок (серия 2) и молотая слюда (серия 3). Вследствие анизометрии отдельных частичек слюды, имеющих пластинчатую форму, высокого наполнения эпоксидной смолы в образцах третьей серии достигнуть не удалось. Объемное содержание наполнителя изменялось в интервале $0{,}71 \geq v \geq 0$. С целью отличия расчетных значений плотности КМ по приведенным формулам использованы порядковые индексы $\rho_{c1}, \rho_{c2}, \rho_{c3}, \rho_{c4}$.

Сравнительный анализ показаал, что расчетные зависимости (1), (2), (3), (4) могут использоваться в соответствующих интервалах содержания наполнителя для прогнозирования плотности дисперсно-наполненных композитов с минеральными наполнителями.

Измерение плотности ненаполненной матрицы ρ_p осуществляется технически несложно. В свою очередь плотность матрицы в композите ρ_m можно оценить лишь приблизительно. Поскольку композит является

Таблица

Сравнение экспериментальных (ρ_c) и расчетных ($\rho_{c1}, \rho_{c2}, \rho_{c3}, \rho_{c4}$) значений плотности исследованных композитов

v	$\rho_c \cdot 10^{-3}$, кг/м³	$\rho_{c1} \cdot 10^{-3}$, кг/м³	$\rho_{c2} \cdot 10^{-3}$, кг/м³	$\rho_{c3} \cdot 10^{-3}$, кг/м³	$\rho_{c4} \cdot 10^{-3}$, кг/м³	$\rho_1 \cdot 10^{-3}$, кг/м³
Серия 1 ($\rho_1 = 2{,}5 \cdot 10^3$, кг/м³)						
0	1,22	1,22	1,22		1,22	1,22
0,29	1,57	1,59	1,57		1,60	1,07
0,45	1,77	1,78	1,77		1,79	1,10
0,55	1,94	1,92			1,94	1,28
0,62	2,04	2,01		2,04	2,03	1,31
0,67	2,11	2,08		2,07	2,10	1,32
0,71	2,15	2,13		2,10	2,15	1,28
Серия 2 ($\rho_1 = 2{,}56 \cdot 10^3$, кг/м³)						
0	1,24	1,24	1,24		1,24	1,240
0,31	1,64	1,65	1,63		1,66	1,180
0,48	1,91	1,87	1,84		1,89	1,397
0,58	2,02	2,00		2,05	2,02	1,290
0,65	2,1	2,10		2,10	2,12	1,250
Серия 3 ($\rho_1 = 2{,}6 \cdot 10^3$, кг/м³)						
0	1,17	1,17	1,17		1,17	
0,037	1,19	1,22	1,21		1,22	
0,088	1,25	1,30	1,27		1,30	
0,162	1,32	1,40	1,36		1,40	
0,278	1,52	1,57	1,5		1,57	

многокомпонентной системой, в которой ее составляющие связаны в единую структуру, то выделение из общих свойств КМ какого-либо свойства одного из компонентов (в данном случае ρ_m) не всегда представляется возможным. Замена ρ_m на ρ_p неадекватна, поскольку при наполнении композита матрица трансформируется в пленочное состояние, отличающееся от ненаполненного полимера.

Обычно для определения плотности матрицы используется экспериментально-расчетный метод. Ввиду того что жесткие частицы неорганических материалов не претерпевают каких-либо изменений в структуре композита, их плотность считается неизменной. Далее измеряется плотность композита ρ_c и расчетным путем находится ρ_m. Представим формулу для расчета в общем виде:

$$\rho_c = \rho_f \upsilon + \rho_m (1 - \upsilon - \upsilon_b) + \rho_b \upsilon_b, \qquad (5)$$

где ρ_f и ρ_b — плотность соответственно наполнителя и воздуха; υ_b — объемная доля воздушных включений в композите. Согласно выражению (17), плотность матрицы в композите составляет:

$$\rho_m = (\rho_c - \rho_f \upsilon - \rho_b \upsilon_b) / (1 - \upsilon - \upsilon_b). \qquad (6)$$

Для расчета ρ_m необходимо знание всех величин, входящих в правую часть равенства. Значения ρ_c, ρ_f и ρ_b определяются экспериментально. При этом плотность воздуха заведомо известна и составляет $\rho_b = 1{,}3$ кг/м^3.

Если композит содержит большое количество изолированных пор, то объем воздуха υ_b невозможно установить опытным путем. В этом случае воздушные включения устраняются. Образцы композита измельчаются до такой степени, чтобы в отдельных частичках композитного порошка не оставалось пор, после чего определяется плотность полученного порошка. Считается, что таким образом получается плотность композита без пор. Однако при измельчении нарушается пленочная структура матрицы, разрушаются адгезионные слои. Все это приводит к тому, что измельченная матрица теряет присущие ей специфические свойства, что вносит погрешность в вычисление ρ_m.

Эффект уплотнения матрицы в композите можно установить в результате косвенного, сравнительного расчета. Обозначим плотность матрицы с воздушными включениями ρ_{mb}. Тогда формула (5) приобретает вид:

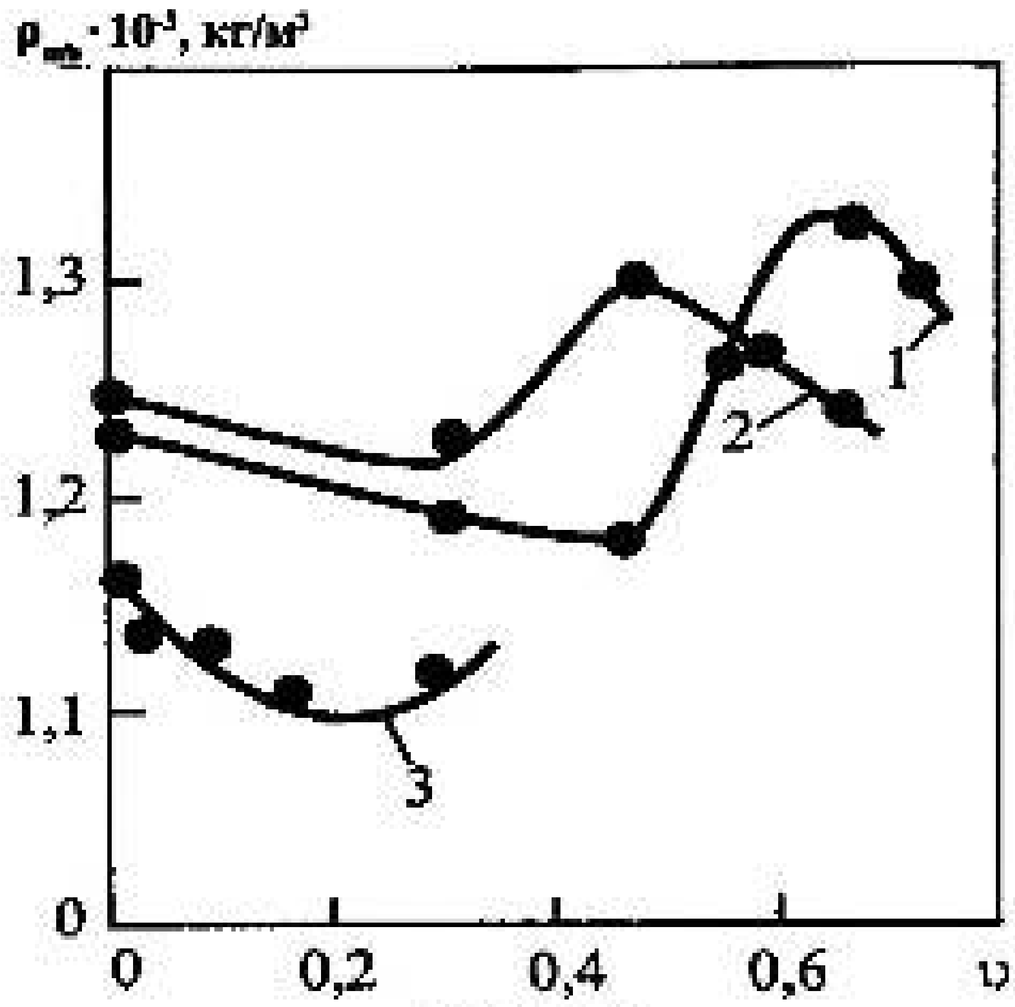


Рисунок 1

Зависимость плотности матрицы от объемного содержания наполнителя: 1, 2, 3 — КМ соответственно 1, 2 и 3-й серий (см. табл.)

$$\rho_c = \rho_f \upsilon + \rho_{mb} (1 - \upsilon). \qquad (7)$$

Здесь предполагается, что частицы наполнителя пор не имеют. Из формулы (7) несложно рассчитать ρ_{mb}, предварительно определив ρ_f и υ.

Расчеты показали, что плотность ρ_{mb} претерпевает экстремальное изменение при $\upsilon = 0{,}5$. Для эпоксидного композита, наполненного молотой слюдой, такого наполнения достигнуть не удалось из-за высокой дисперсности и анизометрии отдельных частичек слюды.

Уплотнение матрицы по сравнению с ненаполненным полимером ($\upsilon = 0$) в среднем составило 6 %. Возможно, происходит снижение пористости при наполнении композита, тогда окажется, что эффект уплотнения матрицы является артефактом. В то же время микроскопические исследования показывают, что с увеличением степени наполнения пористость КМ возрастает.

Обсудим вопрос о пористости матрицы более детально. Рассмотрим, например, полиэфирный композит, у которого эффект уплотнения матрицы наиболее выражен при $\upsilon = 0{,}48$. Подставив табличные данные ρ_f и ρ_c, соответствующие $\upsilon = 0{,}48$, в формулу (3), получим $\rho_{mb} = 1{,}31 \cdot 10^3$ кг/м^3. Для ненаполненной полиэфирной смолы с воздушными включениями имеем $\rho_{mb} = 1{,}24 \cdot 10^3$ кг/м^3 (см. табл.). Складывается впечатление, что по-

ристость матрицы при $\upsilon = 0{,}48$ меньше, чем у ненаполненной смолы. В связи с этим произведем сравнительные расчеты. Примем ρ_{pb} за точку отсчета и предположим, что истинная плотность матрицы в композите ρ_m соответствует этому значению.

Отсюда по формулам (5) и (7) находим:

$$\rho_{mb}(1-\upsilon) = \rho_{pb}(1-\upsilon-\upsilon_b) + \rho_b \upsilon_b. \qquad (8)$$

Учитывая, что для композита $\upsilon = 0{,}48$, находим $\upsilon_b = -0{,}029$. Величина характеризует уменьшение (знак «минус» перед υ_b) величины ρ_{pb} в сравнении с ρ_{mb}, что равносильно снижению объемной доли пор у матрицы на 0,029. Не следует, однако, полагать, что так и происходит в действительности, просто в данном случае υ_b служит оценочным эквивалентом. Запишем ρ_{pb} в виде

$$\rho_{pb} = \rho_p(1-\upsilon_b) + \rho_b \upsilon_b, \qquad (9)$$

где ρ_p — плотность ненаполненной смолы без воздушных включений.

Из формулы (9) определим, какой должна быть ρ_p при снижении пористости смолы на $\upsilon_b = 0{,}029$. Если окажется, что она совпадает с ρ_{mb}, то уплотнения не существует. Расчет показал, что $\rho_p = 1{,}28 \cdot 10^3$ кг/м^3. Следовательно, если даже пустотность ненаполненной смолы уменьшается на $\upsilon_b = 0{,}029$, то плотность ее не достигает значения $\rho_{mb} = 1{,}31 \cdot 10^3$ кг/м^3.

Таким образом, эффект уплотнения $\Delta\rho = \rho_{mb} - \rho_{pb} = 30$ кг/м^3 наблюдается и в этом случае. Истинного значения ρ_m сравнительный расчет не выявил, поскольку неизвестна точная доля пор υ_b. Можно лишь отметить, что оно было бы выше величины $\rho_{mb} = 1{,}31 \cdot 10^3$ кг/м^3.

На рис. 2—4 приведены зависимости плотности ρ_{mb}, прочности при сжатии σ_c и предела текучести $\sigma_т$ от содержания наполнителя в композитах первой и второй серий. Видно, что между кривыми $\rho_{mb} = f(\upsilon)$ и $\sigma_c = f(\upsilon)$ прослеживается корреляция (см. рис. 2, 3). Видимо, в ее основе заложен механизм перехода квазижидкостной фазы КМ в квазитвердотельную.

Интерпретация уплотнения матрицы заключается в следующем. При относительном смещении частиц наполнителя в процессе совмещения компонентов композита на полимерную матрицу действуют значительные сдвиговые напряжения, приводящие к снижению конформационной подвижности макромолекул, а следовательно, к проявлению эффекта ориентирования в пленочной фазе матрицы.

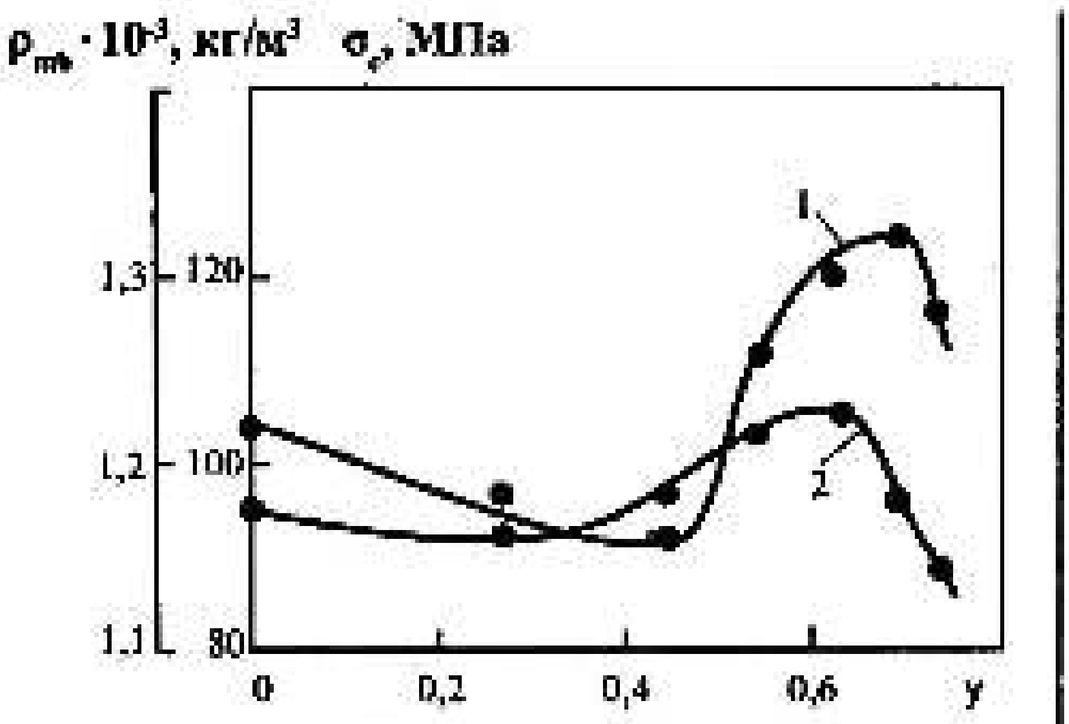


Рисунок 2

Зависимость плотности матрицы (1) и прочности при сжатии (2) эпоксидного композита от объемного содержания молотого кварца ($S_з$ = 100 м^2/кг). Серия 1

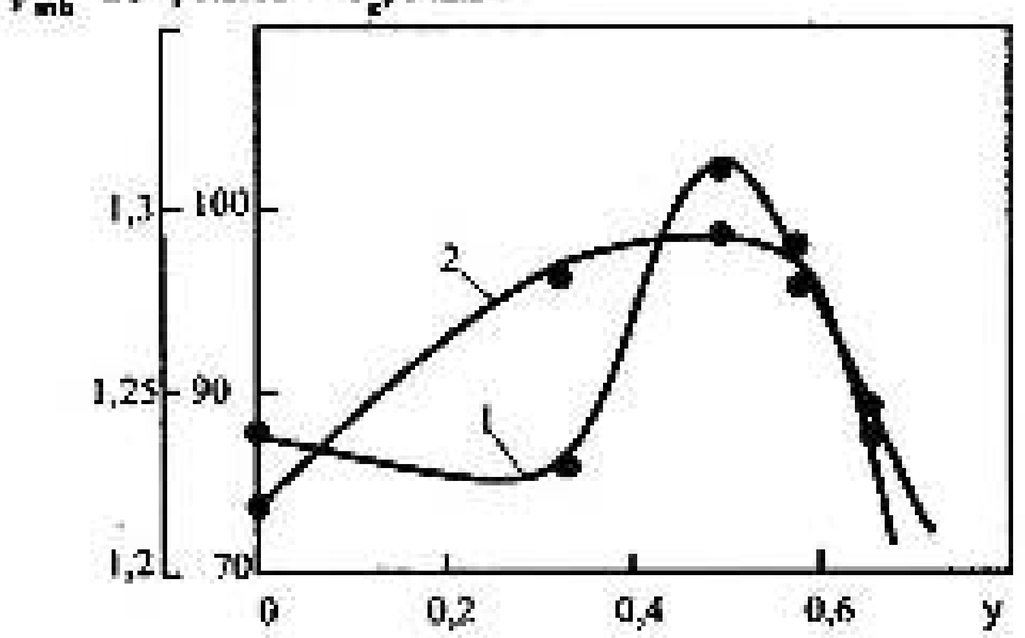


Рисунок 3

Зависимость плотности матрицы (1) и прочности при сжатии (2) полиэфирного композита от объемного содержания молотого кварцевого песка ($S_з$ = 150 м^2/кг). Серия 2

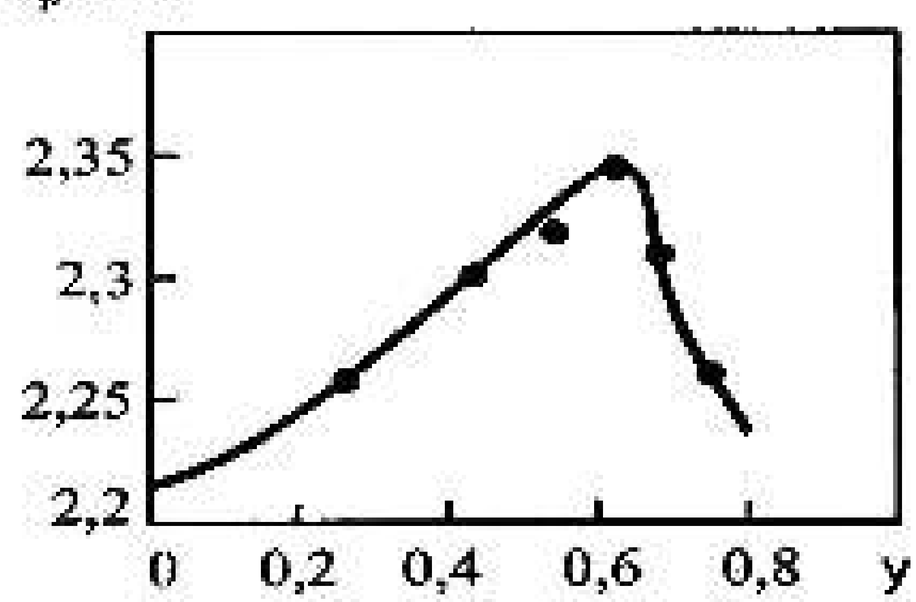


Рисунок 4

Зависимость предела текучести эпоксидного композита, наполненного молотым кварцем, от объемного содержания наполнителя. Серия 1

Такой процесс можно грубо уподобить упрочняющей ориентационной вытяжке полимера. О снижении подвижности цепочек макромолекул полимерной матрицы свидетельствует хрупкий характер разрушения высоконаполненных композитов. Стерические эффекты и сдвиговые напряжения создают в структуре матрицы условия, приводящие к сближению линейно-ориентированных макромолекул. В результате наблюдается общее повышение ее плотности. Уменьшение ρ_{mb} при малых υ (см. рис. 1) связано с нарушением регулярности структуры матрицы в массиве отдельными

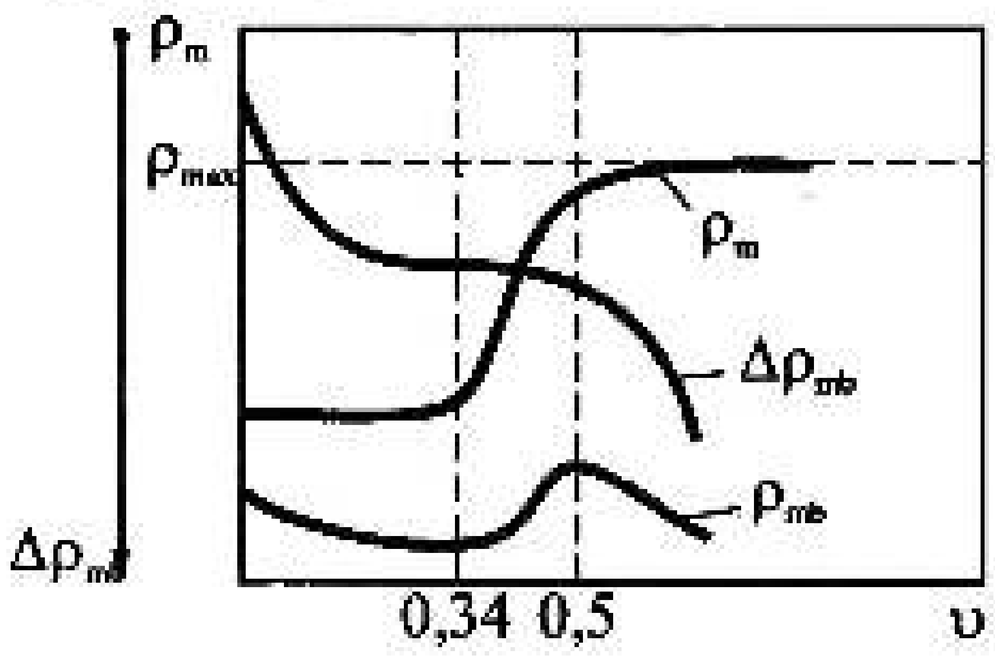


Рисунок 5

Зависимость плотности полимерной матрицы в композите от объемного содержания наполнителя

частицами наполнителя, приводящим к ее разрыхлению и порообразованию. В высоконаполненных КМ ($\upsilon > 0{,}5$) происходит интенсификация порообразования вследствие дробления пленочной матрицы. Становится ясным, что увеличение плотности матрицы ρ_m с ее переходом в пленочное состояние и разуплотнение за счет воздушных включений ($-\Delta\rho_{mb}$) есть два конкурирующих фактора.

На рис. 5 представлены функции $-\Delta\rho = f(\upsilon)$ и $\rho_m = f(\upsilon)$. Их сумма дает результирующую кривую:

$$\rho_{mb}(\upsilon) = \rho_m(\upsilon) - \Delta\rho_{mb}(\upsilon). \quad (10)$$

С повышением υ порообразование (и его эквивалент $|\Delta\rho_{mb}|$) непрерывно увеличивается. В свою очередь ρ_m практически не меняется до наполнения $\upsilon = 0{,}34$. При $\upsilon > 0{,}34$ вследствие образования перколяционного каркаса из пленочной матрицы и его развития ρ_m нарастает по затухающей кривой до значения ρ_{max}, характеризующего предельно устойчивую пленку матрицы. Здесь величина ρ_m берется средней по объему композита. Тот факт, что ρ_m не меняется в интервале $\upsilon = (0 \div 0{,}34)$, не говорит о том, что в отдельных микрообъемах КМ локальная плотность матрицы постоянна. В кластерных образованиях она уже при $\upsilon < 0{,}34$ начинает расти.

Поскольку при наполнении КМ происходит последовательный переход матрицы из состояния массива в состояние уплотненных граничных слоев, формирующих пленочную фазу матрицы, возникает непосредственный интерес в нахождении плотности матрицы (ρ_t) в граничных слоях. По результатам оценки плотности матрицы (ρ_{mb}) с воздушными включениями можно заранее предположить, что ρ_t в процессе наполнения композита будет так же, как и ρ_{mb}, изменяться экстремально — от возрастания к снижению.

Для нахождения расчетной зависимости используем гипотезу, согласно которой объем матрицы с плотностью ρ_m поделен между фазой матрицы в массиве и плотностью ρ_p, соответствующей плотности ненаполненного полимера, и пленочной фазой матрицы с плотностью ρ_t, сформированной из граничных слоев полимера. Принимая это во внимание и используя правило смеси, имеем

$$\rho_c = \rho_t\upsilon + \rho_b\upsilon_b + \rho_t\upsilon_t + \rho_0(1 - \upsilon - \upsilon_b - \upsilon_t), \quad (11)$$

где υ_t — объемная доля пленочной матрицы в композите, ρ_0 — плотность матрицы в состоянии массива. Искомая величина ρ_t находится из выражения

$$\rho_t = [\rho_c - \rho_t\upsilon - \rho_b\upsilon_b - \rho_0(1 - \upsilon - \upsilon_b - \upsilon_t)] / \upsilon_t. \quad (12)$$

Приведенное равенство имеет три неизвестных: ρ_0, υ_t и υ_b. В первом приближении можно принять, что плотность матрицы в массиве совпадает по величине с плотностью ненаполненного полимера $\rho_0 = \rho_p$, и тем самым сократить число неизвестных. Здесь представляется возможным независимо установить лишь υ_t, тогда как значение υ_b из простых соображений не определяется. В данном случае зависимость (12) можно использовать в расчетах, если пренебречь воздушными включениями. Таким образом, пористость будет учтена в искомой величине ρ_t и тем самым будет занижать ее значение. Тем не менее, если окажется, что $\rho_t > \rho_p$ для каких-либо определенных значений содержания наполнителя υ, то это будет подтверждением предположения об уплотнении матрицы в граничном слое. Исключая неза-

висимое влияние пористости, получим более простое выражение:

$$\rho_t = [\rho_c - \rho_f \upsilon - \rho_в (1 - \upsilon - \upsilon_r)] / \upsilon_r.$$

Принимая во внимание соотношение (4.15), определим окончательную расчетную зависимость:

$$\rho_t = [\rho_c - \rho_f \upsilon - \rho_в (1 - 1{,}48\upsilon)] / 0{,}48\upsilon. \qquad (13)$$

В табл. представлены результаты расчета ρ_t для первой и второй серии образцов.

Анализ показывает, что плотность граничных слоев полимерной матрицы ρ_t изменяется нерегулярно с ростом объемного содержания наполнителя, а зависимость $\rho_t = f(\upsilon)$ имеет сложную *S*-образную форму с двумя экстремумами (см. табл.). Причем при значениях содержания наполнителя υ, соответствующих экстремуму-максимуму, наблюдается превышение плотности матрицы в граничных слоях в сравнении с ненаполненным полимером в среднем составившее 10 %.

Следует отметить, что положение экстремума-максимума на оси υ полностью соответствует положению экстремума-максимума графической зависимости изменения прочности от объемного содержания наполнителя (см. рис. 2 и 3), который отвечает оптимальной структуре композита и отражается рецептурным показателем оптимального объемного содержания (υ_0)наполнителя. Поэтому представляется весьма целесообразным производить поиск оптимального рецептурного решения по нетрудоемкой методике измерения плотности композита и его отдельных компонентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Липатов Ю. С.** Физико-химические основы наполнения полимеров / Ю. С. Липатов. — М. : Химия, 1991. — 260 с.

Поступила 16.09.08.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КББ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СДВИГОВЫХ НАГРУЗОК

Ю. А. Полетаев, Б. М. Люпаев, А. И. Ликомаскин, А. А. Морозов, П. И. Пивкин

При воздействии динамических и статических нагрузок от автомобилей в дорожной одежде из щебня возникают горизонтальные смещения слоев щебня. Исследованы высокопрочные при сдвиге конструкции одежды из каркасного бесцементного бетона, в котором щебень расклинцован песком.

В Мордовии для строительства и ремонта автомобильных дорог используется щебень местных или ближайших карьеров. Он имеет порой невысокую прочность, что в большинстве случаев является причиной недолгосрочной работы дорожной одежды. Так как закупка щебня в других регионах России экономически не выгодна, необходимо решение, отвечающее экономическим требованиям и простоте с технологической точки зрения.

Выходом, исходя из опытов, является применение каркасного бесцементного бетона (КББ) [2; 5; 4], состоящего из каркаса, образованного уплотненным щебнем, пустоты в котором заполнены песком. Данный материал — это рационально подобранная смесь щебня и песка, оптимальное процентное соотношение которой подбиралось по ходу испытаний. При работе КББ на сжатие его деформация на порядок меньше, чем щебеночного основания [1]. Деформативность и несущая способность КББ при работе на сдвиг мало изучены [3; 6].

Для изучения работы на сдвиг этого материала были проведены специальные исследования.

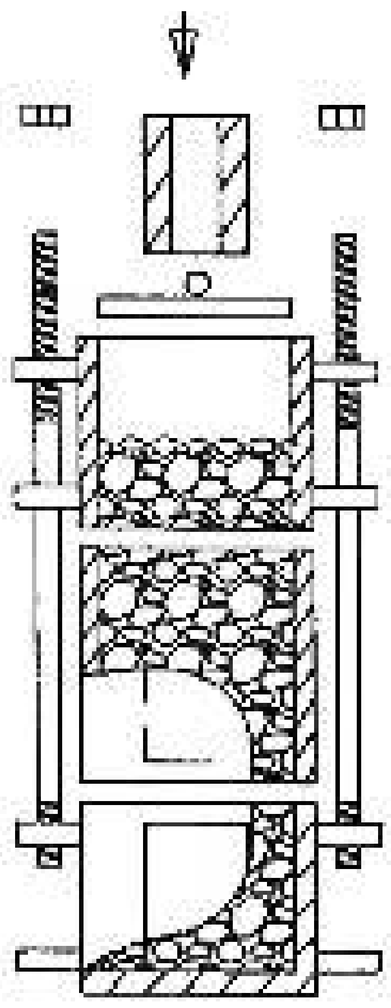


Рисунок 1

Устройство для определения сопротивления срезу в момент задания обжимной нагрузки прессом

Была разработана и запатентована сдвиговая установка, позволяющая испытывать КББ в условиях, максимально приближенных к

реальным. Сдвиговая установка представляет собой соединение трех цилиндров диаметром каждый по 15 см и общей длиной 35 см. Средний цилиндр, смещаясь под давлением пресса, создает сдвиг в двух параллельных плоскостях (рис. 1, 2).

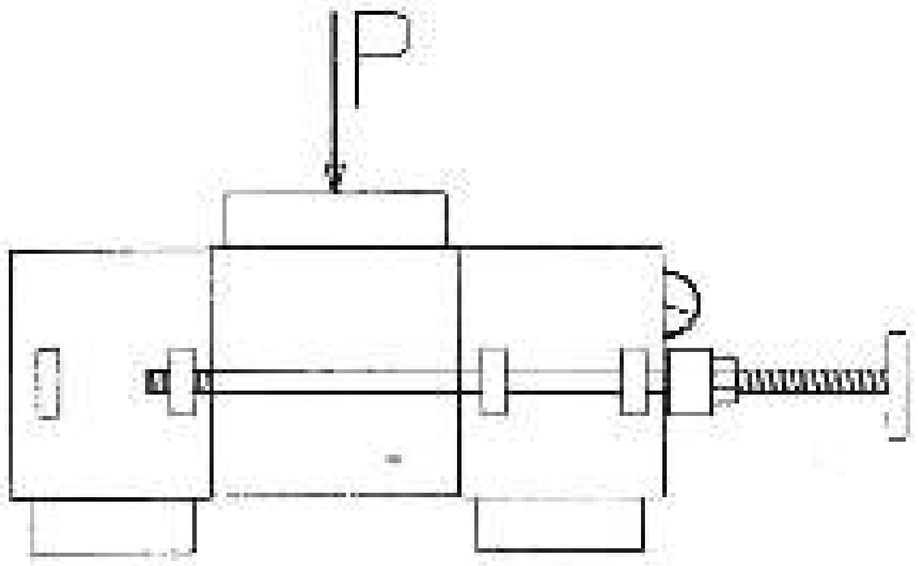


Рисунок 2
Устройство для определения среза в момент задания сдвигающей нагрузки прессом

Испытания проводились при оптимальном соотношении по объему 2 : 1 щебня фракций 40, М400 и песка. Для определения сопротивления материала использован широкий спектр нагрузок. В цилиндрах КББ обжимается до 600 кг (нагрузка от катка) и разгружается. После этого КББ механически обжимается пружинами до 50, 100, 200 кг (обжимающая нагрузка эквивалентна нагрузке от асфальта, легкового и грузового автомобилей). Приложение сдвигающей нагрузки производилось этапами до смещения среднего цилиндра относительно крайних на 5 мм. Результаты приведены в табл. 1—6.

Данные испытания (рис. 3) показали, что КББ значительно превышает по показателям

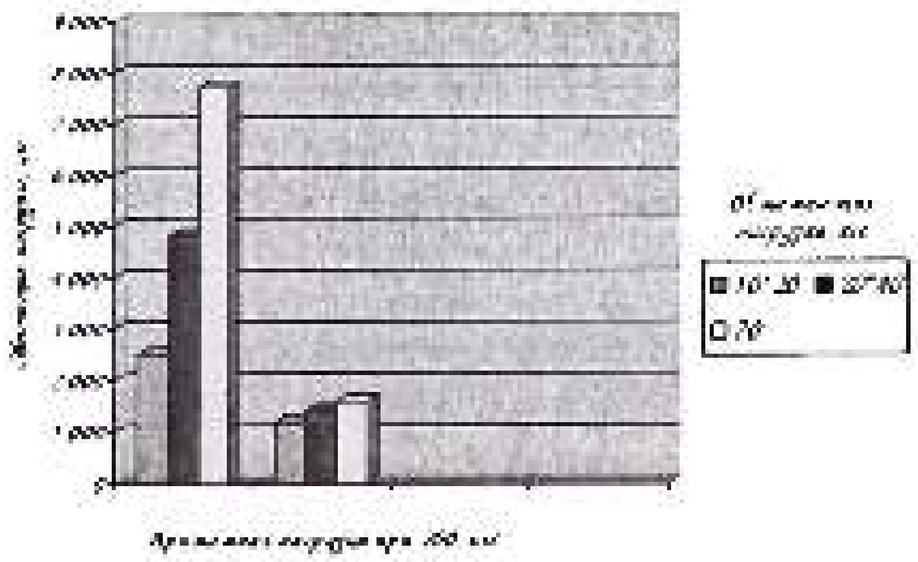


Рисунок 3
Испытания на сдвиг КББ и щебня разных фракций

щебень, уложенный обычным способом, и крупность фракции также сказывается на прочности материала. В целом технология укладки КББ проста, удобна и экономически выгодна, так как его несущая способность вдвое выше, чем у обычного щебеночного основания.

Сравнительное исследование свойств КББ, щебня и щебеночно-песчаной смеси при воздействии сдвиговых нагрузок. В связи с тем, что КББ новый материал и не использовался в массовом строительстве, сравним его с широко применяемым материалом, а именно с щебеночно-песчаной смесью. Подобные смеси широко используются в строительстве оснований автомобильных дорог и аэродромов согласно ГОСТу 25697-94 для устройства покрытий, укрепления обочин автомобильных дорог, а также на щебень, применяемый для устройства покрытий и оснований по способу заклинки.

Смеси должны соответствовать требованиям ГОСТа для строительства оснований. В данном эксперименте будет использоваться смесь под номером С6. Она применяется для строительства оснований с непрерывной гранулометрией. Наибольший размер зерен — 40. Данная смесь соответствует щебню и КББ фракции 20—40. Все эксперименты будут производиться при максимальных условиях эксплуатации: обжатии 600 кг (табл. 7—9). Для удобства изготовления смеси полный остаток на ситах переведем на частный остаток.

Для примера приведем показания для щебня и КББ (табл. 10—11).

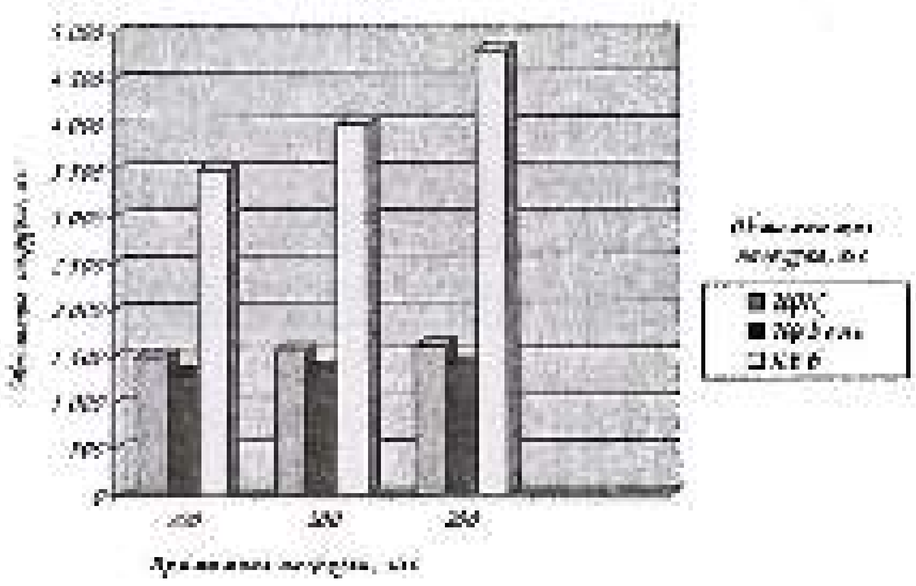


Рисунок 4
Испытания на сдвиг КББ, щебня и щебеночно-песчаной смеси

Из результатов (рис. 4) очевидно, что КББ намного превосходит по прочностным характеристикам все остальные материалы.

Испытания на сдвиг КББ со щебнем фракции 10—20, М300 и песка (2 : 1)

Таблица 1

Результаты испытаний после обжатия 600 кг

Прижимы, кгс	50	100	200
Средняя сдвигающая нагрузка, кгс	1 700	2 100	2 500

Испытания на сдвиг щебня фракций 10—20, М300

Таблица 2

Результаты испытаний после обжатия 600 кг

Прижимы, кгс	50	100	200
Средняя сдвигающая нагрузка, кгс	1 150	1 170	1 190

Испытания на сдвиг КББ со щебнем фракции 20—40, М300 и песка (2 : 1)

Таблица 3

Результаты испытаний после обжатия 600 кг

Прижимы, кгс	50	100	200
Средняя сдвигающая нагрузка, кгс	3 500	4 000	4 800

Испытания на сдвиг щебня фракций 20—40, М300

Таблица 4

Результаты испытаний после обжатия 600 кг

Прижимы, кгс	50	100	200
Средняя сдвигающая нагрузка, кгс	1 300	1 350	1 400

Испытания на сдвиг КББ со щебнем фракции 70, М300 и песка (2 : 1)

Таблица 5

Результаты испытаний после обжатия 600 кг

Прижимы, кгс	50	100	200
Средняя сдвигающая нагрузка, кгс	7 300	7 500	7 700

Испытания на сдвиг щебня фракций 70, М300

Таблица 6

Результаты испытаний после обжатия 600 кг

Прижимы, кгс	50	100	200
Средняя сдвигающая нагрузка, кгс	1 400	1 500	1 600

Таблица 7

Полный остаток на ситах размером, мм, в % по массе

120,0	80,0	40,0	20,0	10,0	5,0	2,5	0,63	0,16	0,05
—	0—5	0—20	40—60	60—80	70—85	75—85	85—95	93—97	95—100

Таблица 8

Частный остаток на ситах размером, мм

120,0	80,0	40,0	20,0	10,0	5,0	2,5	0,63	0,16	0,05
—	0—5	0—0,17	20—50	10—30	0—15	0—7,5	5—15	2,5—7,5	0—5

Таблица 9

Результаты испытаний щебеночно-песчаной смеси после обжатия 600 кг

Прижимы, кгс	50	100	200
Средняя сдвигающая нагрузка, кгс	1 500	1 550	1 600

Таблица 10

Испытания на сдвиг щебня фракций 20—40, М300 после обжатия 600 кг

Прижимы, кгс	50	100	200
Средняя сдвигающая нагрузка, кгс	1 300	1 350	1 400

Таблица 11

Испытания на сдвиг КББ со щебнем фракций 20—40, М300 после обжатия 600 кг

Прижимы, кгс	50	100	200
Средняя сдвигающая нагрузка, кгс	3 500	4 000	4 800

Таблица 12

Результаты испытаний КББ фракции 40—70 после обжатия 600 кг

Прижимы, кгс	50	100	200
Средняя сдвигающая нагрузка, кгс	5 400	5 700	6 200

Таблица 13

Результаты испытаний КББ фракции 70 после обжатия 600 кг

Прижимы, кгс	50	100	200
Средняя сдвигающая нагрузка, кгс	7 300	7 500	7 700

Влияние смешанного фракционного состава щебня на свойства КББ. Доставку щебня и смесей осуществляют партиями. Партию необходимо проверить и испытать, соответствует ли качество щебня и смесей требованиям настоящего стандарта. При приемочном контроле для щебня и смесей определяют:

— зерновой состав;

— содержание пылевидных и глинистых частиц;

— содержание глины в комках;

— содержание дробленых зерен в щебне из гравия.

Допустим, что все показатели, кроме зернового состава, в норме, тогда показатели прочности КББ на сдвиг изменятся.

Испытаем КББ фракции 70, смешанный с фракцией 40, и сравним (табл. 12—13). Из полученных результатов следует, что добавление более мелкого щебня снижает прочностные характеристики КББ.

Следует отметить, что по технологии устройства КББ песок рассыпают кучками и профилируют автогрейдером. Песок уплотняют самоходными пневмокатками массой 6—8 т на виброходу. Уплотнять следует за 3—5 прохода по одному следу. Для улучшения сцепления КББ с асфальтобетонным покрытием КББ обрабатывается щетками для очистки автодорог. При этом:

1. Сырой песок следует укатывать после высыхания.

2. Песок плохо проникает в щебеночную одежду, если щебень имеет размеры менее 15 мм или поврежден.

3. Куски глины убираются вручную.

При применении в дорожном основании КББ есть возможность уменьшить толщину асфальтобетонного покрытия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Актуальные вопросы строительства. Первые Соломатовские чтения : м-лы всерос. науч.-техн. конф. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2002.

2. Актуальные вопросы строительства. Вторые Соломатовские чтения : м-лы всерос. науч.-техн. конф. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2003.

3. Актуальные вопросы строительства : м-лы международ. науч.-техн. конф. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2004.

4. Актуальные вопросы строительства : м-лы международ. науч.-техн. конф. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2005.

5. Естественно-технические исследования : теория, методы, практика : межвуз. сб. науч. тр. — Вып. V. — Саранск, 2005.

6. Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации фундаментов, мостов и автомобильных дорог : м-лы Рос. науч.-техн. конф. (17—19 ноября). — Пермь, 2004.

Поступила 06.04.06.

О РАСЧЕТЕ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГОГО МАТЕРИАЛА В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ

В. В. Ерастов, А. В. Ерастов, В. Т. Ерофеев

В статье рассматриваются вопросы расчета физически нелинейных систем в условиях действия агрессивной среды. Материал конструкции наделяется свойствами нелинейно-упругого тела. Действие агрессивной среды проявляется в изменении во времени физико-механических характеристик нелинейно-упругого материала.

Историческая справка. В 1638 г. великий итальянский ученый Галилео Галилей опубликовал трактат, в котором сформулировал один из основных принципов строительной механики — принцип предельного равновесия. В его основу положена задача определения нагрузок, разрушающих конструкцию. Следует отметить, что этот принцип мало способствовал созданию практически полезных методов расчета.

В первой четверти XIX в. французский ученый Анри Навье выдвинул более плодотворную идею расчета строительных конструкций по рабочему состоянию. В отличие от определения разрушающих нагрузок Навье предложил находить напряженно-деформированное состояние (напряжения и перемещения, возникающие в сечениях конструкций) от действия эксплуатационных нагрузок.

Одновременно с идеей расчета конструкций по рабочему состоянию Навье ввел принцип расчета по заданному (начальному) недеформированному состоянию, которое всегда известно в отличие от неизвестного деформированного состояния, возникающего в процессе нагружения. В соответствии с принципом Навье отождествляются форма и размеры конструкций до и после деформации.

Предложенный Навье принцип, называемый также принципом малости перемещений, совместно с законом Гука послужили толчком к развитию теоретических методов расчета инженерных сооружений в пределах постановки линейных задач, т. е. позволили применить

методы линейной теории для решения задач строительной механики.

Благодаря принципу малости перемещений и закону Гука строительная механика превратилась в «основу инженерных наук», так как на их базе возникло многообразие хорошо обоснованных теоретически методов расчета и было решено большое число задач по исследованию напряженно-деформированного состояния конструкций практически всех типов: стержневых, двухмерных и массивных. Кроме того, была разработана методика расчета по допускаемым напряжениям, обеспечивающая безопасность сооружений.

Стремление достигнуть наибольшей экономичности конструкций в начале XX в. привело к возрождению метода предельного равновесия, однако на новом, качественно более высоком уровне. Новый метод предельного равновесия вобрал в себя все необходимые для его развития достижения строительной механики, теории упругости, теории пластичности и других разделов механики деформируемого твердого тела.

Синтез обоих методов (предельного равновесия и расчета по рабочему состоянию) позволил в наше время производить расчет конструкций с учетом исчерпывающих представлений об их работе на всех этапах нагружения, включая и этап разрушения. Таким образом, современная теория позволяет предсказать и описать поведение конструкции при всевозможных условиях и в любой период ее существования. Очевидно, что в таком широком плане эта задача не может быть решена методами линейной строительной механики, так как положенные в ее основу два принципа (вместе с законом Гука) ограничивают ее возможности. Действительно, форма и размеры конструкции при определенных нагрузках существенно изменяются, и принцип малости перемещений становится неприемлемым. Кроме того, начиная с определенного уровня напряженного состояния, закон Гука практически для всех материалов перестает соблюдаться и должен быть заменен нелинейной зависимостью между напряжениями и деформациями. Отсюда следует, что для решения основной задачи расчета конструкций в широком плане нужно отказаться от простых предпосылок линейной теории и перейти к более широким и сложным обоснованиям нелинейной теории.

Прежде всего нужно отказаться от предпосылки расчета по недеформированному состоянию, который предполагает малость перемещений. При этом возникает нелинейность, называемая геометрической нелинейностью. В этом случае в теорию вводят нелинейные соотношения между деформациями и перемещениями, которые позволяют учитывать влияние изменения формы и размеров конструкции на ее напряженно-деформированное состояние. То есть форма и размеры конструкции, находящейся в различных фазах напряженно-деформированного состояния, не отождествляются. Замена закона Гука нелинейными зависимостями между напряжениями и деформациями составляет сущность так называемой физической нелинейности.

Вследствие действия агрессивной среды происходит изменение физико-механических свойств материалов:

а) уменьшается или увеличивается (в случае охрупчивания, старения пластмасс) модуль упругости;

б) изменяются прочностные свойства, например, предел прочности;

в) увеличиваются деформационные свойства, обусловленные не только уменьшением модуля упругости, но и поверхностным (механическим) разрушением элементов конструкций и т. д.

Действие агрессивной среды, как правило, приводит к физической и геометрической нелинейности. В отдельных случаях при действии агрессивных сред в процессе деформирования вероятно изменение расчетной схемы конструкции. Например, могут разрушаться отдельные связи. В таких случаях возникает конструктивная нелинейность.

Учет трех видов нелинейности: геометрической, физической и конструктивной — существенным образом усложняет решение задачи. В большинстве случаев в зависимости от поставленных целей расчета и особенностей конструкции приходится выделять определяющие параметры и рассматривать частные случаи общей задачи, в которой учитываются не все три вида нелинейностей сразу, а только некоторые из них.

При решении задач, характеризующихся физической нелинейностью, с целью упрощения широко используется гипотеза о нелинейно-упругом материале, согласно которой

зависимости между напряжениями и деформациями при нагрузке и разгрузке тождественны. Эта гипотеза основана на теореме, доказанной Л. М. Качановым [2]: *при активной пластической деформации поведение упругопластического тела неотличимо от поведения нелинейно-упругого тела с такой же зависимостью между напряжениями и деформациями.*

В историческом плане задача физической нелинейности, относящаяся к нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями, впервые рассматривалась Г. Б. Бюльфингером (1729), И. Ходкинсоном (1824) и Ф. И. Герстнером (1831). Сен-Венан в 1864 г. исследовал изгиб балки с различными физически нелинейными законами в условиях работы материала при растяжении и сжатии. Со временем физическая нелинейность стала объектом исследования теории пластичности. Были установлены нелинейные зависимости между напряжениями и деформациями (уравнения Генки), которые легли в основу теории пластичности малых деформаций А. А. Ильюшина.

Задача, относящаяся к геометрической нелинейности, впервые была сформулирована Леонардом Эйлером применительно к тонким упругим стержням. Во второй половине XIX в. А. Клебшом (1862), а позднее Г. Р. Кирхгоффом (1877) и Сен-Венаном (1881) осуществлены первые попытки создания теории расчета гибких пластин. Окончательно геометрически нелинейные уравнения пластинок были получены А. Фепплем и Т. Карманом (1910). Зависимость между напряжениями и деформациями (усилиями-перемещениями) является одним из основных физических свойств строительных материалов. Она определяет физическую модель и выбор метода расчета строительных конструкций.

Исследование геометрически и физически нелинейных задач очень сложно, и в связи с этим данное направление начало развиваться только в середине XX в. благодаря широкому внедрению ЭВМ, которые существенно облегчили вычислительные процессы, необходимые при решении «дважды нелинейных» задач.

Конструктивно-нелинейные системы впервые рассмотрены С. П. Тимошенко [4]. Большой класс систем с односторонними связями исследовал И. М. Рабинович.

Об аппроксимации экспериментальной зависимости между напряжениями и деформациями образцов из полиэфирной смолы и молотого кварцевого песка. В процессе лабораторных испытаний образцов из полиэфирной смолы ПН-19 с наполнителем из молотого кварцевого песка были получены диаграммы усилия-перемещения. Усредненная зависимость между усилиями и перемещениями, найденная в процессе обработки шести результатов эксперимента, характеризуется существенной кривизной при нагрузке, превышающей 90 % от предельной, и является практически линейной при нагрузке, не превышающей 50 % от предельной. В момент разрушения образцов касательная, проведенная к кривой $\sigma - \varepsilon$, проходит параллельно горизонтальной оси, однако нисходящая ветвь диаграммы отсутствует.

Обработка диаграммы усилия-перемещения позволила получить основные характеристики: $\sigma_{пр} = 1\,206$ кг / см^2; $\varepsilon_{пр} = 0{,}04532$;

$$E = \frac{Pl}{\Delta A} = \frac{1176 \cdot 1{,}015}{(1{,}7/50) \cdot 0{,}975 \cdot 1} = 36\,000 \text{ кг / см}^2.$$

Для аппроксимации реальной зависимости $\sigma - \varepsilon$ принимаем несколько физических законов, описывающих нелинейное поведение материалов. При этом характерные постоянные, входящие в аппроксимирующие зависимости, находим из условий:

а) равенства пределов прочности, определяемых по экспериментальной кривой и аппроксимирующей зависимости:

$$\sigma_{пр} = f(\varepsilon_{пр}); \qquad (1)$$

б) равенства нулю производной в точке, соответствующей пределу прочности:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon} = 0 \Big|_{\varepsilon_{пр}} \qquad (2)$$

Закон Бюльфингера:

$$\sigma = E\varepsilon^{\kappa}, \qquad (3)$$

где постоянная $\kappa = 1{,}0975$ определена из условия (1).

Зависимость $\sigma - \varepsilon$ в виде параболы с одним неизвестным коэффициентом:

$$\sigma = E\varepsilon - A_2\varepsilon^2, \qquad (4)$$

где постоянная $A_2 = 207\,000$ кг / см^2 найдена из условия (1).

Параболическая зависимость с двумя неизвестными коэффициентами:

$$\sigma = A_1\varepsilon - A_2\varepsilon^2, \qquad (5)$$

где постоянные A_1 = 53 200 кг / см²
и A_2 = 587 000 кг / см².

Закон в виде кубической параболы с одним коэффициентом:

$$\sigma = E\varepsilon - A_3\varepsilon^3, \qquad (6)$$

где A_3 = 4 569 800 кг / см² определено из условия (1).

Зависимость в виде кубической параболы с двумя неизвестными коэффициентами:

$$\sigma = A_1\varepsilon - A_3\varepsilon^3, \qquad (7)$$

где A_1 = 39 900 кг / см²
и A_3 = 6 479 000 кг / см².

Зависимость в виде полинома:

$$\sigma = E\varepsilon + A_2\varepsilon^2 - A_3\varepsilon^3, \qquad (8)$$

где A_2 = 173 080 кг / см²
и A_3 = 8 389 000 кг / см²

Закон в виде полинома пятой степени:

$$\sigma = E\varepsilon - A_3\varepsilon^3 + A_5\varepsilon^5, \qquad (9)$$

где A_3 = 10 550 000 кг / см²
и A_5 = 2 911 000 000 кг / см²

Закон Гука:

$$\sigma = E\varepsilon. \qquad (9)$$

В табл. приводятся величины напряжений, найденных по аппроксимирующим зависимостям, и дается процент их отклонения от действительных значений.

Полученные исследования показывают: при малых уровнях напряжений (до 50 % от предельных значений) поведение материала образца подчиняется закону Гука (расхождения не превышают 2 %); при напряжениях, превышающих половинные значения предельных напряжений, наиболее приемлемой зависимостью следует считать кубическую параболу с двумя коэффициентами, т. е. $\sigma = A_1\varepsilon + A_3\varepsilon^3$. В этом случае максимальные расхождения изменяются в пределах от 0,5 до −2,0 %.

О расчете конструкций. В статически определимых системах нахождение внутренних усилий не вызывает затруднений. Найдем несущую способность поперечного сечения изгибаемого элемента (балки) при условии, что материал обладает физически нелинейной зависимостью между напряжениями и деформациями.

Положим, что для изгибаемого элемента справедлив закон плоских сечений:

$$\varepsilon_y = y / \rho, \qquad (11)$$

а изменением формы и размеров поперечного сечения будем пренебрегать.

Для аппроксимирующей зависимости между напряжениями и деформациями в виде кубической параболы с учетом (1) имеем:

$$\sigma_y = \frac{A_1 y}{\rho} - \frac{A_3 y^3}{\rho^3} \qquad (12)$$

Запишем уравнение моментов:

$$M = \int_F \sigma y dF = \frac{A_1}{\rho}\int_F y^2 dF - \frac{A_3}{\rho^3}\int_F y^4 dF \qquad (13)$$

или:

$$M = \frac{A_1 J_x}{\rho} - \frac{A_3 J_x}{\rho^3} \qquad (14)$$

Таблица

Аппроксимирующие зависимости напряжений

Деформации образца ε, % от предельных значений $\varepsilon_{пр}$	Экспериментальное значение напряжений, кг / см²	Значения напряжений в соответствии с аппроксимирующими зависимостями							
		(3) кг / см², %	(4) кг / см², %	(5) кг / см², %	(6) кг / см², %	(7) кг / см², %	(8) кг / см², %	(9) кг / см², %	(10) кг / см², %
21,74	354,1	226,0	334,6	467,2	350,3	396,9	363,4	344,9	354,7
		−36,35	−5,51	31,94	−1,07	9,26	2,63	−2,60	0,17
43,48	697,5	483,7	629,0	820,1	674,4	736,6	712,3	637,3	709,4
		−30,65	−9,82	17,58	−3,31	5,61	2,12	−8,63	1,71
65,22	1 028,7	754,8	983,2	1 059,6	946,1	1 012,0	998,5	857,3	1 064,0
		−26,62	−14,14	3,00	−8,03	−1,62	−2,93	−16,66	3,43
86,96	1 170,5	1 035,0	1 097,2	1 184,9	1 139,1	1 176,0	1 174,1	1 049,8	1 418,7
		−3,30	2,29	1,23	−2,68	0,47	0,31	−1,77	21,21
100	1 206,2	1 206,0	1 206,2	1 205,6	1 206,2	1 206,2	1 206,2	1 206,1	1 631,5
									35,26

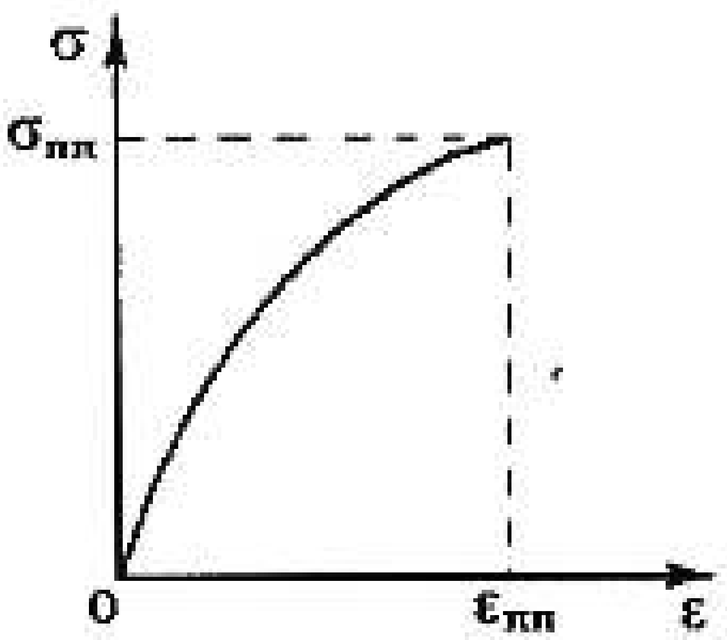


Рисунок
График зависимости напряжения — деформации

где $J_2 = \int_F y^2 dF$; $J_4 \int_F y^4 dF$ — моменты инерции второго и четвертого порядков соответственно.

Рассмотрим случай, когда зависимость $\sigma - \varepsilon$ не имеет нисходящей ветви (рис.). Наибольший изгибающий момент определим из условия, что в крайнем волокне напряжения равны предельному значению. Продифференцируем выражение (12) по y и приравняем производную нулю, т. е.:

$$\frac{d\sigma}{dy} = \frac{A_1}{\rho} - \frac{3A_3 y^2}{\rho^3} = 0. \qquad (15)$$

Из уравнения (15) определяем y:

$$y = \rho\sqrt{\left[\frac{A_1}{3A_3}\right]} \qquad (16)$$

Предположим, что $y_{max} = h / 2$ из (16), и найдем:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{2}{h}\sqrt{\left[\frac{A_1}{3A_3}\right]}. \qquad (17)$$

Подставив формулу (17) в уравнение (14), в результате получим:

$$M_{пр} = A_1\frac{2J_2}{h}\sqrt{\left[\frac{A_1}{3A_3}\right]} - A_3\frac{8J_4}{h^3}\sqrt{\left[\frac{A_1}{3A_3}\right]^3} \qquad (18)$$

Для прямоугольного сечения:

$$J_2 = b\frac{h^3}{12}; \qquad (19)$$

$$J_4 = b\int_{-h/2}^{h/2} y^4 dy = \frac{bh^5}{80}.$$

С учетом (19) выражение (18) принимает вид:

$$M_{пр} = \frac{2A_1bh^2}{15}\sqrt{\left[\frac{A_1}{3A_3}\right]}. \qquad (20)$$

Выражение (20) позволяет найти максимальный изгибающий момент, который может воспринять прямоугольное поперечное сечение.

Пример. Требуется подобрать сечение шарнирно-опертой балки из полиэфирной смолы с наполнителем из молотого кварцевого песка исходя из условия несущей способности. Максимальный момент в балке 180 000 кг / см. Величины: A_1 = = 39 900 кг / см², A_3 = 6 479 000 кг / см²

Представим ширину балки равной 5 см и приравняем полученный максимальный момент к (10). Таким образом, получим:

$$180000 = \frac{2\cdot 39900\cdot 5h^2}{15}\sqrt{\frac{39900}{3\cdot 6479000}},$$

отсюда h = 12,2 см.

О распределении напряжений в прямоугольном поперечном сечении элемента конструкции из нелинейно-упругого материала. Задавая в (11) координату $y = y_1$, для (12) и (14) получим:

$$\left.\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{A_1 y_1}{\rho} - \frac{A_3 y_1^3}{\rho^3};\\ M &= \frac{A_1 J_2}{\rho} - \frac{A_3 J_4}{\rho^3};\end{aligned}\right\} \qquad (21)$$

Отсюда найдем отношения 1 / ρ и 1 / ρ^3:

$$\left.\begin{aligned}\frac{1}{\rho} &= \frac{\sigma_1 J_4 - My_1^2}{y_1 J_4 - y_1^3 J_2}\frac{1}{A_1};\\ \frac{1}{\rho^3} &= \frac{My_1 - \sigma_1 J_2}{y_1^3 J_2 - y_1 J_4}\frac{1}{A_3}.\end{aligned}\right\} \qquad (22)$$

Из первой формулы (22) найдем 1 / ρ^3 и приравняем его к значению, полученному из второй формулы. В результате получим:

$$\sigma_1 = \frac{My_1}{J_2} - \frac{[(My_1^2 - \sigma_1 J_4)^2 A_3]}{\{[y_1(y_1^2 J_2 - J_4)]^3 A_1^3\}}\frac{1}{J_2}. \qquad (23)$$

Нелинейная зависимость (23) позволяет получить закон распределения напряжений в поперечном сечении при заданном изгибающим моменте.

Положив $y_1 = h_1 = h_{max}$ (частный случай h_1 — координата фибрового волокна) зависимость (23) можно представить в виде:

$$M = \frac{\sigma_1 J_2}{h_1} + \frac{[(Mh_1^2 - \sigma_1 J_4)^2 A_3]}{\{[h_1(h_1^2 J_2 - J_4)]^3 A_1^3\}}\frac{1}{h_1}. \qquad (24)$$

Для прямоугольного поперечного сечения высотой 15 см и шириной 8 см при A_1 = = 39 900 кг / см², A_3 = 6 479 000 кг / см², $J_2 = b\frac{h^3}{12}$ = 2 250 см⁴, $J_4 = \frac{bh^5}{80}$ = 75 937,5 см⁶ и M = 180 000 кг·см в соответствии с формулой (23) получено распределение напряжений по высоте поперечного сечения (табл. 2).

Таблица 2

Изменение напряжений по высоте поперечного сечения

Значение координаты y, см	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	7,5
Значения напряжений, кг / см^2	81,834	163,33	244,15	323,96	400,50	476,78	553,98	590,56

О действии агрессивной среды. Инженерные сооружения в процессе эксплуатации подвергаются различным воздействиям со стороны окружающей среды. По физической природе агрессивные среды подразделяются на биологические, химические, механические, электромагнитные и т. д. Несмотря на многообразие агрессивных сред, их проявление на строительные конструкции инженерных сооружений можно характеризовать тремя типами механизмов разрушения: гетерогенным, гомогенным и диффузионным.

При гетерогенном механизме происходит поверхностное разрушение материала без существенного изменения его физических свойств в объеме конструкции. С математических позиций действие этого механизма выражается в уменьшении линейных размеров конструкций и всех зависящих от них геометрических характеристик: статических моментов площади, моментов сопротивления к моментов инерции, используемых в практических расчетах. Примерами гетерогенного механизма разрушения являются коррозия металлических конструкций; механический износ поверхностей вследствие истирающего воздействия; разрушение полимерных материалов (пленок) под действием света и т. д.

Гомогенный механизм разрушения обусловливается изменением физических свойств материала в объеме конструкции практически без уменьшения ее размеров. Это изменение свойств математически описывается введением физически нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями как функции времени. Гомогенный механизм разрушения характерен для пористых материалов, которым свойственно быстрое насыщение химически или биологически активными средами.

Диффузионный механизм разрушения проявляется при неравномерном распределении концентраций агрессивных сред. Его особенностью является изменение физических свойств материала, в процессе эксплуатации, по толщине конструкции. Примерами диффузионного разрушения являются повреждение композиционных материалов химически активной средой; радиоактивное облучение толстостенных и объемных конструкций и т. д.

Исходные предпосылки. Как правило, строительные материалы при действии агрессивной среды характеризуются нелинейной зависимостью между интенсивностями напряжений и деформаций. Существует ряд аппроксимирующих законов, описывающих эту взаимосвязь в виде степенных, обратно-гиперболических, показательных, тригонометрических, комбинаций гиперболических, тригонометрических и других функций. Наиболее общим законом является аппроксимирующая кривая в виде ряда [3], т. е.

$$\sigma = \sum_{i=1}^{n} A_i(t)\varepsilon_i^{k_i}(t). \qquad (25)$$

Для определения коэффициентов $A_i(t)$ и $k_i(t)$ требуется составить ряд условий (на конкретные моменты времени):

а) равенство пределов прочности;

б) существование экстремума в точках $\varepsilon_{пр}$;

в) равенство удельных энергий, найденных по экспериментальной и аппроксимирующим кривым.

В рамках гомогенного механизма разрушения функцию (25) представим в виде:

$$\sigma = E(t)\varepsilon - E_1(t)\varepsilon^3 - E_2(t)\varepsilon^5 \qquad (26)$$

Теоретические исследования. Решение физически нелинейной задачи о расчете плиты осуществим энергетическим методом. Энергию деформации тела найдем в результате суммирования удельных энергий, т. е.

$$u = \int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} a^* dxdydz. \qquad (27)$$

Здесь $a^* = \frac{3}{2}\frac{E}{1-2\nu_0}\varepsilon_{\Phi}^2 + \int_0^{\varepsilon_i}\sigma_i d\varepsilon_i - \frac{1-2\nu_0}{3E}\int_0^{\sigma_i}\sigma_i d\sigma_i$.

Пусть материал, из которого выполнена плита, является нелинейно-упругим, несжимаемым. Кроме того, предположим совпадение направляющих тензоров напряжений и деформаций, согласно [1]. Тогда в выражении функции деформаций примут вид:

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{B_2}\,z, \qquad (28)$$

где $B_3 = \xi_{0z} = -\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2}; \xi_{0y} = -\frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2}; \xi_{0yz} = -\frac{\partial^2 \omega}{\partial y \partial x};$

ω — прогиб тонкой плиты.

В условиях действия гетерогенного механизма толщина плиты будет изменяться по некоторому закону:

$$f = s(t). \qquad (29)$$

При этом энергия деформации, характеризуемая объемом тела, также претерпит изменения.

Производя интегрирование (27), с учетом (26) и (29) получим:

$$u = \int_{-a}^{a}\int_{-a}^{a}(\alpha_1 h^3(t)B_1 - \alpha_2 h^5(t)B_1^2 - \alpha_3 h^7(t)B_1^3)dxdy. \qquad (30)$$

Здесь $h(t) = h_0 - s(t)$; $\alpha_1 = \frac{2E(t)}{9}$; $\alpha_2 = \frac{4E_1(t)}{45}$; $\alpha_3 = \frac{32E_2(t)}{576}$.

Пусть плита загружена распределенной нагрузкой, тогда работа внешних сил будет равна:

$$W = \int_{-a}^{a}\int_{-a}^{a} g(x, y)\omega dxdy. \qquad (31)$$

Для дальнейшего решения задачи необходимо задаться функцией прогибов, которая должна соответствовать граничным условиям. Так, для шарнирно опертой плиты:

$$\omega = \omega_0(t)\cos\frac{\pi x}{2a}\cos\frac{\pi y}{2b}. \qquad (32)$$

Выполним интегрирование (30) и (31) для случая равномерно распределенной нагрузки, действующей перпендикулярно срединной поверхности плиты:

$$u = \beta_1\omega_0^2 - \beta_2\omega_0^4 - \beta_3\omega_0^6; \; W = g_0\omega_0\frac{16ab}{\pi^2}.$$

Здесь $\beta_1 = \frac{\alpha_1 h^3(t)\pi^4}{16}\cdot\frac{(a^2+b^2)^2}{a^2b^2}$;

$$\beta_2 = \frac{\alpha_2 h^5(t)\pi^8}{16a^4b^4}\cdot[9(a^2+b^2)^4 - 16a^2b^2(a^2+b^2)^2 + 16a^4b^4;$$

$$\beta_3 = \frac{\alpha_3 h^7(t)\pi^{12}}{64^2a^6b^6}\cdot[25(a^2+b^2)^6 - 72a^2b^2(a^2+b^2)^4 +$$

$$+ 72a^4b^4(a^2+b^2)^2.$$

Минимизируем приращение энергии:

$$\frac{\delta\Theta}{\delta\omega_0} = \frac{\delta(u-W)}{\delta\omega_0} = 0.$$

Получаем зависимость между нагрузкой и прогибом:

$$g_0 = \omega_0\left(\frac{\beta_1\pi^2}{8ab} - \frac{\beta_2\pi^2}{4ab}\omega_0^2 - \frac{3\beta_3\pi^2}{8ab}\omega_0^4\right). \qquad (34)$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ильюшин А. А.** Пластичность. Ч. 1. Упруго-пластические деформации / А. А. Ильюшин. — М. : Логос, 2004. — 388 с.

2. **Качанов Л. М.** Упругопластическое состояние твердых тел / Л. М. Качанов // ПММ. — 1941. — Т. V, вып. 3.

3. **Лукаш П. А.** Основы нелинейной строительной механики / П. А. Лукаш. — М. : Стройиздат, 1978. — 206 с.

4. **Тимошенко С. П.** Сопротивление материалов / С. П. Тимошенко. — М. : Наука, 1965. — Т. 1. — 363 с.

Поступила 15.09.06.

УЧЕТ СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА ЗА СТРОИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ФУНДАМЕНТОВ

И. И. Меркулов, В. М. Балахно

В статье приведен метод определения расчетного сопротивления с учетом фильтрационной консолидации за период строительства. В отличие от классической постановки задачи определения расчетного сопротивления условие прочности грунта Кулона — Мора записывается в терминах эффективных напряжений, предложенных Гольдштейном.

При определении M_γ, M_q, M_c коэффициентов нормативные значения прочностных характеристик (угла внутреннего трения φ, удельного сцепления C) для глинистых грунтов согласно ГОСТу [1] рекомендуется определять:

1) с показателем консистенции $I_L \geq 0{,}5$ по методике недренированного сдвига (т. е. принимается условие, что в такого рода грунтах в начальный период нагружения грунтового основания вся нагрузка воспринимается поровой водой). В этом случае сопротивление сдвигу в основном определяется величиной удельного сцепления и в незначительной мере — величиной нормального давления в скелете грунта;

2) с показателем консистенции $I_L \geq 0{,}5$ по методике дренированного консолидированного сдвига (т. е. принимается условие, что в начальный период нагружения вся нагрузка воспринимается скелетом грунта).

Однако регламентируемые в [1] методики определения прочностных характеристик в первом случае приводят к завышению расчетной ширины фундамента, во втором — к ее занижению (в первом случае не учитывается уплотнение грунтового основания за время строительства, во втором принимается, что грунт полностью уплотняется за время строительства).

Ниже приведен метод определения расчетного сопротивления с учетом фильтрационной консолидации за период строительства. В отличие от классической постановки задачи определения расчетного сопротивления условие прочности грунта Кулона — Мора записывается в терминах эффективных напряжений, предложенных Гольдштейном [2]:

$$\sigma_1^{э} - \sigma_2^{э} = \left(\sigma_1^{э} + 2\frac{C}{tg\varphi}\right)\sin\varphi \qquad (1)$$

либо

$$\sqrt{(\sigma_x^{э} - \sigma_z^{э})^2 + 4\tau_{xz}^2} = \left(\sigma_x^{э} + \sigma_z^{э} + 2\frac{C}{tg\varphi}\right)\sin\varphi; \qquad (2)$$

$$\sigma_1^{э} = \sigma_1 - u; \sigma_2^{э} = \sigma_2 - u; \sigma_x^{э} = \sigma_x - u; \sigma_z^{э} = \sigma_z - u; \tau_{xz}^{э} = \tau_{xz}. \qquad (3)$$

где $\sigma_1^{э}$, $\sigma_2^{э}$, $\sigma_x^{э}$, $\sigma_z^{э}$, $\tau_{xz}^{э}$, σ_1, σ_2, σ_x, σ_z, τ_{xz} — эффективные и главные тотальные напряжения по площадкам, параллельным координатным осям; u — давление в поровой воде; C, φ — удельное сцепление и угол внутреннего трения, определяемые по методике дренированного консолидированного сдвига.

При определении расчетного сопротивления грунта приняты следующие допущения:

1) уплотнение грунта в период строительства происходит под действием мгновенно прикладываемой постоянно действующей нагрузки. Принимая это допущение как расчетный параметр, можно, например, установить период строительства равным половине нормативного срока;

2) распределение тотальных напряжений не зависит от времени и определяется согласно теории линейно деформируемой среды. Известно, что отклонение от этого допущения не превышает 10—20 %;

3) в момент времени $t = 0$ шаровой тензор напряжений, определяющий объемные деформации, воспринимается поровой водой. Однако наличие в ней пузырьков воздуха, структурная прочность грунта и другие факторы способствуют частичному восприятию шарового тензора напряжений скелетом грунта. Принятие этого допущения приводит к уменьшению расчетных значений прочностных характеристик грунтов;

4) не учитывается ползучесть грунта, которая в некоторой степени замедляет процесс фильтрационной консолидации. Это явление можно описать при помощи эмпирических коэффициентов.

Необходимость принятия допущений обосновывается следующим.

1. Отсутствуют методы испытания грунтов, позволяющие определить большинство параметров, входящих в зависимости, описывающие теоретические модели грунтового основания.

2. Чем больше процессов, протекающих в грунтовом основании, описываются теоретической моделью, тем сложнее опытным путем определить численные значения необходимых расчетных параметров и тем неопределеннее результат, полученный на основе более точной модели.

3. Чем проще предлагаемый расчетный метод, тем проще и надежнее его практическая апробация.

Следуя классической постановке задачи, уплотнение от собственного веса грунта завершено; следовательно, в нормально уплотненных грунтах оно не может быть причиной возникновения порового давления. Последнее рассматривается как результат уплотнения грунта дополнительным давлением, действующим по подошве фундамента $(p - \gamma h)$. Распределение напряжений от собственного веса грунта подчиняется гидростатическому закону. Тотальные нормальные напряжения в произвольной точке грунтового основания можно определить по формуле:

$$\sigma_{1,2} = \bar{\sigma}_{1,2} + \gamma (h + z), \qquad (4)$$

где $\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2$ — нормальные тотальные напряжения в грунте от нагрузки по подошве фундамента $(p - \gamma h)$; γ — удельный вес грунта; h — глубина заложения фундамента; z — координата произвольной точки грунтового основания.

Используя условия прочности грунтов для произвольной точки грунтового основания, в терминах нормальных тотальных напряжений от нагрузки по подошве фундамента $(p - \gamma h)$ получим равенство:

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = \left[(\sigma_1 + \sigma_3) + 2\frac{C}{\operatorname{tg}\varphi} + 2\gamma (h + z) - 2u\right]\sin\varphi. \qquad (5)$$

Введем обозначения: $\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2, \bar{u}$ — соответствующие напряжения от нагрузки по подошве фундамента, равной $\frac{\pi}{2}$.

Из уравнения (5) получим:

$$(p - \gamma h)\{[(\sigma_1 - \sigma_2) - (\sigma_1 + \sigma_2)\sin\varphi] + 2u \cdot \sin\varphi\} = \left[\frac{C}{\operatorname{tg}\varphi} + \gamma (h + z)\right]\sin\varphi. \qquad (6)$$

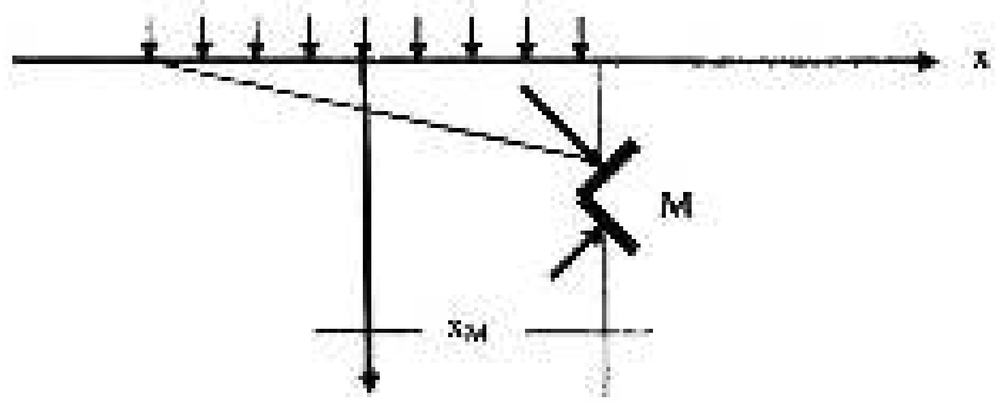
Если

$$K = \frac{1}{\pi}\{[(\sigma_1 - \sigma_2) - (\sigma_1 + \sigma_2)\sin\varphi] + 2u \cdot \sin\varphi\}, \qquad (7)$$

то

$$p - \gamma \cdot z\frac{\sin\varphi}{K} + \gamma h\left(\frac{\sin\varphi}{K} + 1\right) + \frac{C - \cos\varphi}{K}. \qquad (8)$$

Здесь p — давление по подошве фундамента, приводящее к выполнению условия прочности в произвольной точке. Расчетное сопротивление R, как и давление по подошве фунламента p, вызывающее образование областей пластических деформаций на максимальной глубине $z = b/4$, определяется с точностью до постоянных коэффициентов (рис.). При этом значение абсциссы точки, для которой на глубине $z = b/4$ выполняется критерий прочности, определяется из условия $(\delta p/\delta x)x = b/4$ согласно второму допущению для указанной точки M [2] (см. рис.).



Рисунок

Определение координаты и главных напряжений в точке M

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \varphi, \qquad (9)$$

Тогда

$$x_M = (1{,}0 - 0{,}5\sqrt{0{,}75 + \operatorname{tg}\varphi})b; \qquad (10)$$

$$\bar{\sigma}_1 = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) + \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)\right];$$
$$\bar{\sigma}_2 = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) + \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)\right]. \qquad (11)$$

$$\bar{u} = \frac{1}{2}(\operatorname{arctg}\omega_2 - \operatorname{arctg}\omega_1) - \frac{1}{2}\int_{\omega_1}^{\omega_2}\exp\left[-V^2(1 + \zeta^2)\right]\frac{d\zeta}{1 + \zeta^2}, \qquad (12)$$

где $\omega_1 = \frac{n-0,5}{0,25}$; $\omega_2 = \frac{n+0,5}{0,25}$; $V = \frac{0,25b}{2\sqrt{at}}$ Здесь b — ширина фундамента, t — время уплотнения грунта.

$$a = \frac{K_{ср}}{m_0 \gamma_w}, \qquad (13)$$

где $K_{ср}$ — коэффициент фильтрации; $m_v = \frac{m_0}{1+e_0}$ — коэффициент относительной сжимаемости (m_0 — коэффициент сжимаемости грунта; e_0 — коэффициент пористости неуплотненного грунта; γ_w — удельный вес воды).

Введя обозначения в соответствии со СНиП [3], формулу (8) запишем в следующем виде:

$$P = M_\gamma b\gamma + M_q \gamma h + M_c c, \qquad (14)$$

где $M_\gamma = \frac{0,25\sin\varphi}{K}$; $M_q = \frac{\sin\varphi}{K} + 1$; $M_c = \frac{\cos\varphi}{K}$. (15)

Коэффициенты M_γ, M_q, M_c легко выразить через табличные значения M^T_γ, M^T_q, M^T_c [3]:

$$M_\gamma = M^T_\gamma \cdot \alpha; \quad M_q = (M^T_q - 1)\alpha + 1; \quad M_c = M^T_c \cdot \alpha; \qquad (16)$$

$$\alpha = \frac{K_{\Gamma=\infty}}{K_\Gamma}. \qquad (17)$$

Из [2] следует, что $K_{\Gamma=\infty} = \cos\varphi - (\frac{\pi}{2} - \varphi)\sin\varphi$. (18)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 12248-96 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформативности.

2. **Гольдштейн М. Н.** Об исследовании механических свойств грунтов / М. Н. Гольдштейн, С. С. Бабицкая // Вопр. геотехники [Днепропетровск]. — 1972. — № 21. — С. 11—23.

3. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. — М. : Стройиздат, 1985. — 40 с.

Поступила 16.09.08.

КОНСТРУКТИВНОЕ УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ И ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ ПРИ НОВОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В КРУПНЫХ МЕГАПОЛИСАХ

Д. Н. Котельников, В. И. Римшин

В статье рассматривается проблема усиления фундаментов зданий окружающей застройки при строительстве зданий и сооружений (на примере центральной части Москвы). Основополагающими факторами при этом являются проведение квалифицированного обследования состояния зданий, правильное определение проектных решений и их грамотная реализация подрядной организацией. Авторами рассматриваются способы усиления фундаментов и грунтов основания зданий через устройство буроинъекционных свай, методом статического задавливания свай, цементацией фундамента и контакта «фундамент — грунт», а также закреплением грунтов основания.

В центральной части крупных городов, где стоимость земли очень высокая и ее катастрофически не хватает, а существующая застройка очень плотная, инвесторы пытаются использовать каждый свободный участок земли для нового строительства. Сегодня в центре города существует острая проблема со стоянками автотранспорта, что вынуждает проектировщиков использовать для парковки подземное пространство под возводимыми зданиями. Кроме того, после проведения ландшафтно-визуального анализа редко можно получить разрешение на строительство более 5—6 надземных этажей, что также приводит к необходимости использования подземного пространства для устройства различного вида технических помещений для размещения технологического оборудования и устройства помещений для складов. Также в подземной части здания возможно размещение столовой и прочих вспомогательных помещений. В настоящее время для размещения различного рода сооружений часто используется подземное пространство под дворовыми территориями с устройством в уровне земли скверов, детских и спортивных площадок, а также открытых территорий различного назначения. Все эти факторы заставляют проектировщиков активнее использовать подземное пространство, но при углублении можно столкнуться с другими проблемами, такими как прохождение в земле различных магистральных инженерных коммуникаций, коллекторов, тоннелей метрополитена и других, наличие которых может ограничить максимальную глубину заложения фундаментов проектируемого здания.

В условиях плотной городской застройки, где строительный объект может быть ограничен существующей застройкой даже с трех сторон, несмотря на то что фундамент является наименее изнашиваемой частью здания, он может благополучно служить многие столетия, если правильно спроектирован и не подвергается новым воздействиям. Но, как показывает опыт строительства зданий в центральной части Москвы, застройщики обычно сталкиваются с необходимостью усиления окружающих зданий, непосредственно примыкающих к возводимому объекту. Это особенно актуально при возведении зданий глубокого заложения, где необходимо усиливать и те окружающие строения, которые находятся на некотором отдалении от возводимого здания (до двух глубин котлована). Кроме того, часто в исторической застройке центра города здания имеют более чем столетнюю историю и нередко являются объектами культурного наследия. Примерами такого усиления могут служить здания на ул. Рождественке, д. 10 / 2, 11, стр. 3, 4, Кузнецкий Мост, д. 15, Сретенке, д. 24 / 2 и многие другие. Все эти факторы возлагают огромную ответственность на застройщиков в части усиления фундаментов, грунтов основания, а часто и верхних несущих конструкций зданий окружающей застройки.

Сначала необходимо объективно понять, что же все-таки необходимо усиливать. Для этого нужно провести обследование состояния фундаментов и конструкций зданий

окружающей застройки, а также определить гидрогеологические условия участка земли. Затем разрабатывается отчет об оценке влияния строительства на окружающую застройку, где после проведения подробных расчетов точно определен перечень окружающих зданий, попадающих в зону влияния строительства. Также на основании технических заключений о состоянии фундаментов, грунтов основания и верхних конструкций окружающих зданий предлагается перечень мероприятий, которые необходимо провести для предотвращения негативных последствий строительства для окружающей застройки. На основании вышеуказанных отчетов и заключений при необходимости разрабатываются проекты усиления фундаментов грунтов основания и верхних несущих конструкций окружающих зданий. Такие работы в Москве проводит ряд квалифицированных организаций: НИИОСП им. Н. М. Герсеванова, ГУП «Мосгоргеотрест», ФГУППИИ «Фундаментпроект» и др. Необходимо также отметить, что отчет об оценке влияния строительства на окружающую застройку, а также проекты усиления зданий, непосредственно примыкающих к защитному сооружению («стена в грунте»), необходимо выполнять только после разработки проекта ограждающей конструкции нового здания (монолитная, сборная или сборно-монолитная «стена в грунте», шпунтовое ограждение котлована из буронабивных или буросекущих свай или другое), где определены все основные показатели, такие как толщина, глубина заложения подошвы «стены в грунте», расстояние защитного сооружения от фундаментов существующей застройки, глубина заложения подошвы фундамента проектируемого здания и т. д. Одним из важнейших факторов при проектировании усиления фундаментов является глубина заложения защитного сооружения, так как при разработке захватки «стены в грунте» возможно частичное обрушение грунта, уже ослабленного сначала устройством буроинъекционных свай, а затем проходкой грейфера, и большая часть сваи усиления оказывается в рыхлом или частично обрушенном грунте, а основную нагрузку начинает нести только та часть сваи, которая находится ниже глубины заложения стены в грунте, как правило, в твердых грунтах.

Конструктивное расстояние от ростверка усиления фундаментов до «стены в грунте» нового здания должна быть не менее ширины форшахты, необходимой для работы грейфера или гидрофрезерной установки, что обычно составляет 500—600 мм. Это также позволяет поставить небольшую земляную прослойку между фундаментами соседних строений.

Существует несколько способов усиления фундаментов и грунтов основания зданий:

— устройство буроинъекционных свай;

— метод статического задавливания свай;

— цементация фундамента и контакта «фундамент — грунт»;

— закрепление грунтов основания;

Метод статического задавливания свай (вдавливание) обладает большими преимуществами. Благодаря отсутствию динамических и вибрационных воздействий в конструкциях реконструируемых сооружений исключаются неравномерные осадки, трещины и разрушения, гарантируется высокая точность погружения и появляется возможность оценки несущей способности каждой сваи.

Цементация фундаментов и контакта «фундамент — грунт» проводится с целью устранения пустот и промоин, возникающих при продолжительной эксплуатации здания, улучшения физико-механических свойств фундаментов и грунта под подошвой фундамента, повышения несущей способности основания и фундаментов и позволяет устранять неравномерные осадки зданий и сооружений. Цементация может применяться как отдельный, самостоятельный вид работ по усилению фундаментов, так и в комплексе с изготовлением свай.

Буроинъекционные сваи для усиления фундаментов зданий окружающей застройки нового строительства используются чаще всего, но, как правило, совместно с цементацией фундаментов и контактом «фундамент — грунт».

В Москве возможно осуществлять строительство в любых грунтовых уровнях, не разрабатывая котлованы и не нарушая естественной структуры грунтов основания, в любой период года. Устройство буроинъекционных свай производится малогабаритными станками как внутри жилого или производственного помещения, так и в его подвальной части. Усиление этим способом наиболее целесообразно выполнять, если грунты основания усиливаемого здания имеют низкую несущую способность. В этом случае часть или всю нагрузку от фундамента передают на более глубоко расположенные прочные слои грунта.

Буроинъекционные сваи применяются при строительстве новых сооружений рядом с существующими, а также для усиления старых, находящихся в аварийном состоянии. Это необходимо, когда сооружение объектов ведется в условиях сложившейся застройки, при реконструкции действующих предприятий и цехов, усилении фундаментов под оборудование, защите существующих зданий и сооружений от возможных подвижек грунта, при разработке глубоких котлованов, проходке тоннелей, коллекторов. В этих случаях обычные сваи из-за вибрации, ударов и громоздкости оборудования оказываются неприемлемыми. Этот вид укрепления фундаментов наиболее индустриален. Несущая способность буроинъекционных свай, как и традиционных забивных, должна уточняться по результатам их статических испытаний.

Конструкция укрепления фундаментов буроинъекционными сваями заключается в устройстве так называемой несплошной «стены в грунте», состоящей из наклонных и вертикальных свай. Наклонные сваи с углом наклона 1—10 град. проходят через тело усиливаемого фундамента. Все сваи опираются на твердые несущие грунты, которые должны находиться ниже подошвы защитной «стены в грунте» проектируемого здания. Оголовки свай связываются между собой железобетонным или металлическим ростверком, который позволяет всем сваям усиления воспринимать нагрузку совместно. Такое усиление было выполнено на ул. Рождественке, д. 10 / 2, Сретенке, д. 24 / 2 и др. Ростверк может также выполнять функции подпорной стенки в случае значительного перепада высот между усиливаемыми фундаментами и площадкой строительства, при котором подошва фундамента находится выше площадки строительства. При вывалах грунта из-под фундамента возможно полное или частичное обрушение здания. Примером может служить усиление здания на ул. Кузнецкий Мост, д. 17.

В настоящее время при усилении фундаментов часто применяют козловые сваи, при устройстве которых забуривание происходит с двух сторон, через тело фундамента (снаружи и изнутри здания), под определенным углом (1—10 град.), навстречу друг другу, с шагом не менее трех диаметров свай. При использовании данного метода нет необходимости в устройстве дополнительного ростверка, так как нагрузка от здания передается через фундамент на устойчивую козловую конструкцию. Таким образом были усилены здания на ул. Кузнецкий Мост, д. 13 / 9, Рождественке, д. 8 / 15, стр. 3.

К недостаткам данного метода усиления фундаментов можно отнести сложности при определении качества выполнения ствола сваи, антикоррозионную стойкость, ненадежность закрепления головы сваи в случае ветхого фундамента, который в последующем работает как ростверк.

При производстве работ по усилению фундаментов и грунтов основания существующей застройки очень важно проводить постоянный геодезический мониторинг за осадками зданий путем нивелирования всех геодезических марок, установленных на зданиях.

Наблюдения за деформациями оснований и фундаментов зданий следует производить до начала работ по усилению и укреплению фундаментов, а также после окончания работ с частотой циклов наблюдений на период строительства не менее одного раза в неделю. Класс нивелирования марок, конструкция реперов и технология производства работ принимаются в соответствии с [1].

С развитием строительства стало ясно, что усиление фундаментов зданий окружающей застройки при строительстве зданий и сооружений крайне необходимо, особенно в исторической застройке центральной части Москвы. Основополагающими факторами являются: проведение квалифицированного обследования состояния зданий, правильное определение проектных решений и их грамотная реализация подрядной организацией.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по наблюдению за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. — М., 1975.

Поступила 15.09.08.

ИНКРЕМЕНТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПЛАСТИНОК, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С АГРЕССИВНЫМИ СРЕДАМИ

В. В. Петров, О. В. Пенина, П. В. Селяев

В работе рассматриваются инкрементальные математические модели упругопластического деформирования пластин средней толщины, работающие на изгиб в агрессивной среде, позволяющие исследовать изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) пластины на основе деформационной теории А. А. Ильюшина. Предлагается оценивать степень воздействия агрессивных сред на элементы конструкций с помощью деградационных функций секущего и касательного модулей, определяемых на основании экспериментальных данных.

Влияние агрессивной (рабочей) среды приводит к значительному изменению внутренней структуры и физико-механических свойств материала конструктивных элементов, работающих в этой среде [2; 6]. Экспериментальному исследованию зависимости скорости коррозии от напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции посвящено большое количество исследований. Многие авторы указывают на значительную сложность физико-механических процессов и невозможность создания универсальной математической модели.

При совместном действии эксплуатационной нагрузки и агрессивной среды появляется синергетический эффект, в результате которого НДС конструкции изменяется, а время от начала эксплуатации до наступления опасного состояния значительно уменьшается [1]. Проведенный анализ опубликованных работ, а также результатов обследования конструкций в различных условиях эксплуатации показывает, что при расчете необходимо учитывать воздействие агрессивных сред.

До настоящего времени общего метода расчета прочности и долговечности строительных конструкций с учетом воздействия внешней среды пока не существует. Известные нам методы основаны на различных экспериментальных данных, а выводы часто противоречат. В работе [5] показана методика создания частных моделей изгиба пластинок с нелинейно-упругими свойствами материала, учитывающая влияние величины концентрации агрессивной среды в материале. Опасным состоянием конструктивного элемента считается момент достижения напряжениями в любой точке неповрежденной и поврежденной агрессивной средой частей сечения некоторого опасного уровня. Диапазон применимости модели — до момента наступления опасного состояния.

Для описания развивающейся неоднородности прочностных и деформационных свойств используется феноменологический подход. Феноменологические модели используют внешние признаки изменения (ухудшения) кого-либо свойства (прочности, жесткости) в результате деградации материала с течением времени или с ростом концентрации агрессивной среды в точке материала.

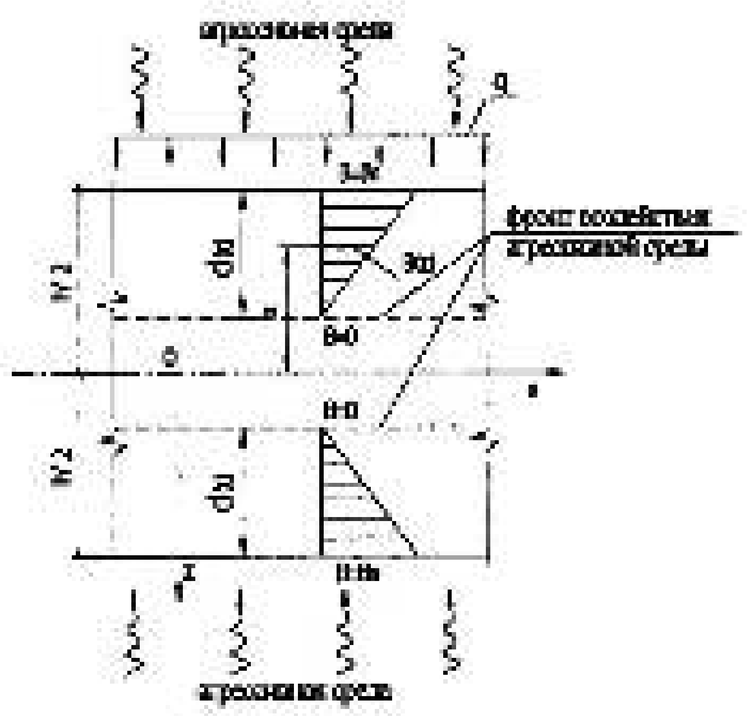


Рисунок 1
Расчетная схема

На рис. 1 показана схема работы пластинки в агрессивной среде в момент времени $t = t_1$. Среда действует на пластинку с двух сторон. Здесь B_0 — концентрация ра-

бочей среды на поверхности материала, $\delta(t)$ — глубина проникновения агрессивной среды в толщу материала. В дальнейшем принимаем, что $\delta(t) = \alpha\sqrt{t}$, где α — экспериментальный коэффициент, зависящий от пары «материал—среда», q — интенсивность поперечной нагрузки, $B(z)$ — концентрация агрессивной среды в произвольной точке материала, z — расстояние от срединной плоскости до текущей ординаты. Граница, где $B(h/2 - z) = 0$, называется *фронтом воздействия агрессивной среды*.

Интегральной характеристикой свойств материала следует считать кривую деформирования, по характеру изменения которой можно судить о пределе прочности, деформационных свойствах материала, способности к разупрочнению и характере взаимодействия с агрессивной средой. Для построения модели необходимо иметь экспериментальные кривые деформирования при отсутствии агрессивной внешней среды, что позволит установить зависимость между интенсивностью напряжений σ_i и интенсивностью деформаций ε_i. Результатом второй группы экспериментов является построение диаграмм деформирования для образцов, различное время взаимодействующих с агрессивной средой при несходных уровнях предварительного нагружения [5].

П. В. Селяевым [8] разработана методика экспериментальных исследований, позволяющая построить кривые деформирования для различных точек поперечного сечения образцов, которые взаимодействовали с агрессивной средой. Концентрация агрессивной среды, диффундирующей в материал образца в различных точках по направлению от поверхности образца к его центру, была различной, как и время взаимодействия образца со средой.

При проведении экспериментальных исследований варьировались состав полимербетона, концентрация и вид агрессивной среды. Результаты испытаний, проведенных по методике П. В. Селяева, представлены на рис. 2 в виде кривых деформирования материала $\sigma_i - \varepsilon_i$, а на рис. 3 — в виде изменений секущего и касательного модулей в зависимости от концентрации агрессивной среды в точке материала.

Из графиков видно, что наблюдаются резкое уменьшение секущего и касательного модулей при малых концентрациях всех рас-

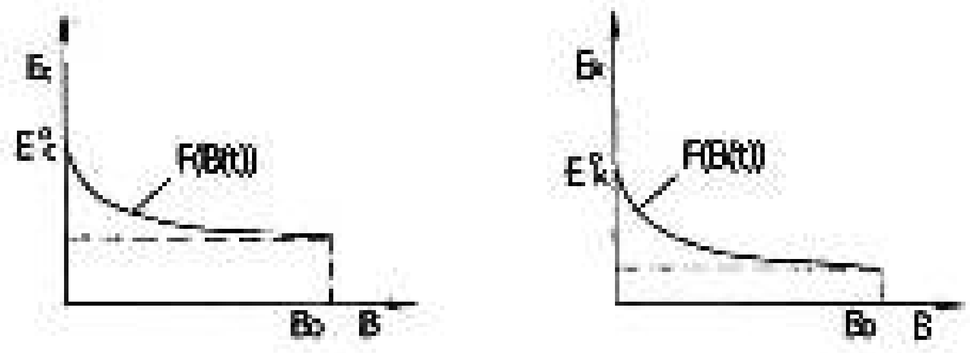


Рисунок 3

Результаты испытаний, проведенных по методике П. В. Селяева

смотренных агрессивных сред и практически линейная зависимость при повышенных концентрациях этих сред.

За основу берем деформационную теорию пластичности для несжимаемого материала, в соответствии с которой имеем следующее физическое уравнение:

$$D_\sigma = \frac{2}{3}E_i^* D_\varepsilon, \qquad (1)$$

где D_σ — девиатор напряжений, D_ε — девиатор деформаций, E^*_i — секущий модуль, $E^*_i = \sigma_i / \varepsilon_i$, σ_i — интенсивность напряжений, ε_i — интенсивность деформаций.

Для того чтобы получить инкрементальные физические уравнения, необходимо построить дифференциал Гато применительно к уравнению (1), который позволяет получить следующие физические соотношения в инкрементальной форме [5]:

$$\begin{aligned}
\Delta\sigma_x &= \frac{4}{3}E_i^*\left(\Delta\varepsilon_x + \frac{1}{2}\Delta\varepsilon_y\right) + \frac{4}{3}\left(\varepsilon_x + \frac{1}{2}\varepsilon_y\right)\frac{\partial E_i^*}{\partial B}\Delta B;\\
\Delta\sigma_y &= \frac{4}{3}E_i^*\left(\Delta\varepsilon_y + \frac{1}{2}\Delta\varepsilon_x\right) + \frac{4}{3}\left(\varepsilon_y + \frac{1}{2}\varepsilon_x\right)\frac{\partial E_i^*}{\partial B}\Delta B; \qquad (2)\\
\Delta\tau_{xy} &= \frac{1}{3}E_i^*\Delta\gamma_{xy} + \frac{1}{3}\frac{\partial E_i^*}{\partial B}\Delta B,
\end{aligned}$$

где $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$, $\Delta\tau_{xy}$ — нормальные и касательные напряжения, $\Delta\varepsilon_x$, $\Delta\varepsilon_y$, $\Delta\gamma_{xy}$ — линейные и угловые деформации, $E^*_k = d\sigma_i / d\varepsilon_i$ — касательный модуль, ΔB — приращение концентрации агрессивной среды.

Запишем дифференциальное уравнение равновесия пластинки Софи Жермен в инкрементальной форме:

$$\frac{\partial^2 \Delta M_x}{\partial x^2} + 2\frac{\partial^2 \Delta M_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \Delta M_y}{\partial y^2} = -\Delta q, \qquad (3)$$

где ΔM_x, ΔM_y, ΔM_{xy} — приращения изгибающих и крутящего моментов, Δq — приращение поперечной нагрузки.

Для приращений моментов справедливы формулы:

$$\Delta M_x = \int_{-h/2}^{h/2} \Delta\sigma_x z dz; \quad \Delta M_y = \int_{-h/2}^{h/2} \Delta\sigma_y z dz;$$

$$\Delta M_{xy} = \int_{-h/2}^{h/2} \Delta\tau_{xy} z dz, \qquad (4)$$

где h — толщина пластинки.

Считая справедливой гипотезу Кирхгофа, запишем деформации и приращения деформаций в срединной плоскости пластинки через прогиб и приращения прогиба по формулам:

$$\varepsilon_x = -z\frac{\partial^2 W}{\partial x^2};\quad \varepsilon_y = -z\frac{\partial^2 W}{\partial y^2};\quad \gamma_{xy} = -2z\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y};$$
$$\Delta\varepsilon_x = -z\frac{\partial^2 \Delta W}{\partial x^2};\quad \Delta\varepsilon_y = -z\frac{\partial^2 \Delta W}{\partial y^2};\quad \Delta\gamma_{xy} = -2z\frac{\partial^2 \Delta W}{\partial x \partial y}, \qquad (5)$$

где W — суммарный прогиб, ΔW — приращение прогиба.

В соответствии с [8] в зоне деградации свойств материала концентрация среды изменяется от значения B_0 на поверхности материала до нуля на границе *фронта деградации*. В зоне повреждения изменение прочностных свойств материала происходит от начального значения этого модуля на границе фронта деградации до наименьшего (на поверхности образца). Вид этой кривой определяется из решения уравнения массопереноса. Ввиду малой толщины поврежденного слоя и в запас прочности полагаем, что по толщине поврежденного слоя концентрация изменяется по закону треугольника. Из рис. 1 имеем:

$$B(z) = \frac{B_0\left(z - 0.5h + \alpha t^{0.5}\right)}{\alpha t^{0.5}}, \qquad (6)$$

Скорость роста концентрации рабочей среды в произвольной точке материала определяется по формуле:

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \frac{B_0(h-2z)}{4\alpha t^{1.5}}. \qquad (7)$$

Учитывая деградацию свойств материала во времени, выражения секущего и касательного модулей принимаем в виде:

$$E_c^* = E_c^0 F(B(t)) \quad E_t^* = E_t^0 F(B(t)). \qquad (8)$$

В результате обработки экспериментальных исследований П. В. Селяев предложил записать функцию деградации в виде [8]:

$$F(B(t)) = \exp(-\lambda B(z)), \qquad (9)$$

где λ — экспериментальный коэффициент, характеризующий степень деградации конструкционного материала.

На основании выражения (6) можно записать:

$$-\lambda B(z) = \frac{-\lambda B_0}{\alpha t^{0.5}}\cdot z + \lambda B_0\left(\frac{h}{2\alpha t^{0.5}} - 1\right) = a(t)z + b(t). \qquad (10)$$

Примем зависимость $\sigma_i - \varepsilon_i$ в точке материала в виде:

$$\sigma_i = E^0\varepsilon_i - m\varepsilon_i^2, \qquad (11)$$

где E^0 — начальный модуль упругости материала, m — коэффициент, получаемый при обработке экспериментальных данных.

Выражение для секущего и касательного модулей примут вид:

$$E_c^0 = E^0 - m\varepsilon_i,\ E_t^0 = E^0 - 3m\varepsilon_i. \qquad (12)$$

При использовании технической теории изгиба пластинок выражение для интенсивности деформаций имеет вид:

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_x\varepsilon_y + \frac{1}{4}\gamma_{xy}^2}. \qquad (13)$$

Подставляя выражения (5) в (13), получим:

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}}z\sqrt{\left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2}\right)^2 + \frac{\partial^2 W}{\partial x^2}\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y}\right)^2}. \qquad (14)$$

Введем условное обозначение подкоренного выражения в (14):

$$[W(x,y)] = \left[\left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2}\right)^2 + \frac{\partial^2 W}{\partial x^2}\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y}\right)^2\right]. \qquad (15)$$

Тогда выражения для секущего и касательного модулей можно записать в виде:

$$E_c^* = E^0 - \frac{4mz^2}{3}[W(x,y)] \quad E_t^* = E^0 - 4mz^2[W(x,y)]. \qquad (16)$$

Перепишем (4) с учетом выражений (2) и (5):

$$\Delta M_x = -\frac{4}{3}\left(\frac{\partial^2 \Delta w}{\partial x^2} + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 \Delta w}{\partial y^2}\right)\int_{-h/2}^{h/2} E_c^* z^3 dz - \frac{4}{3}\left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 W}{\partial y^2}\right)\int_{-h/2}^{h/2}\frac{\partial E_c^*}{\partial B}\Delta B z^3 dz;$$
$$\Delta M_y = -\frac{4}{3}\left(\frac{\partial^2 \Delta w}{\partial y^2} + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 \Delta w}{\partial x^2}\right)\int_{-h/2}^{h/2} E_c^* z^3 dz - \frac{4}{3}\left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 W}{\partial x^2}\right)\int_{-h/2}^{h/2}\frac{\partial E_c^*}{\partial B}\Delta B z^3 dz;$$
$$\Delta M_{xy} = -\frac{2}{3}\frac{\partial^2 \Delta W}{\partial x \partial y}\int_{-h/2}^{h/2} E_c^* z^3 dz - \frac{2}{3}\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y}\int_{-h/2}^{h/2}\frac{\partial E_c^*}{\partial B}\Delta B z^3 dz. \qquad (17)$$

Приращение концентрации агрессивной среды можно вычислить по формуле:

$$\Delta B = \frac{\partial B}{\partial t}\Delta t. \qquad (18)$$

С учетом (10) отдельно рассмотрим интегралы, входящие в (17). После всех необходимых преобразований возможна следующая запись переменных интегральных характеристик:

$$\int_{-h/2}^{h/2} E_c^* z^2 dz = e^{b(t)}\left(E^0\int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)z}\cdot z^2 dz - 4m[W(x,y)]\int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)z}\cdot z^4 dz\right);$$
$$\int_{-h/2}^{h/2}\frac{\partial E_c^*}{\partial B}\Delta B z^3 dz = \frac{-\lambda B_0}{4\alpha}t^{\frac{3}{2}}\Delta t\, e^{b(t)}\left[E^0\left(h\int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)z}z^3 dz - 2\int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)z}z^4 dz\right) - \right. \qquad (19)$$
$$\left. -\frac{4m}{3}[W(x,y)]\left(h\int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)z}z^4 dz - 2\int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)z}z^5 dz\right)\right]$$

Введем дополнительные условные обозначения для коэффициентов:

$$a(t,z)=\int_{-h/2}^{h/2}e^{\alpha(t)x}\cdot z^3dz;\quad b(t,z)=\int_{-h/2}^{h/2}e^{\alpha(t)x}\cdot z^3dz;$$
$$c(t,z)=\int_{-h/2}^{h/2}e^{\alpha(t)x}\cdot z^4dz;\quad d(t,z)=\int_{-h/2}^{h/2}e^{\alpha(t)x}\cdot z^3dz. \qquad (20)$$

Переменные числовые коэффициенты (20) зависят от времени t и ординаты z, что позволяет описать условную жесткость в различные моменты времени по всей толщине материала.

Тогда интегральные характеристики переменных жесткостей обозначим:

$$I_1^* = \int_{-h/2}^{h/2}E_1^*z^3dz = e^{\alpha(t)x}\left(E^*a(t)-4m\left[W(x,y)\right]c(t)\right);$$
$$\int_{-h/2}^{h/2}\frac{\partial E_c^*}{\partial B}\Delta B\,z^3dz=\frac{-\lambda B_0}{4\alpha}t^{-\lambda}\Delta t\cdot e^{\alpha(t)x} \qquad (21)$$
$$\times\left\{E^*\left[b\,a(t)-2b(t)\right]-\frac{4m}{3}\left[W(x,y)\right]\left[b\,c(t)-2d(t)\right]\right\}=-\frac{\lambda B_0}{4\alpha}t^{-\lambda}\Delta t\cdot e^{\alpha(t)x}I_c^*.$$

С учетом (21) перепишем выражение (17):

$$\Delta M_x=-\frac{4}{3}\left(\frac{\partial^2\Delta w}{\partial x^2}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2\Delta w}{\partial y^2}\right)I_1^*+\frac{4}{3}\left(\frac{\partial^2W}{\partial x^2}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2W}{\partial y^2}\right)\frac{\lambda B_0}{4\alpha}t^{-\lambda}\Delta t\cdot e^{\alpha(t)x}I_c^*;$$
$$\Delta M_y=-\frac{4}{3}\left(\frac{\partial^2\Delta w}{\partial y^2}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2\Delta w}{\partial x^2}\right)I_1^*+\frac{4}{3}\left(\frac{\partial^2W}{\partial y^2}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2W}{\partial x^2}\right)\frac{\lambda B_0}{4\alpha}t^{-\lambda}\Delta t\cdot e^{\alpha(t)x}I_c^*; \qquad (22)$$
$$\Delta M_{xy}=-\frac{2}{3}\frac{\partial^2\Delta W}{\partial x\partial y}I_1^*+\frac{2}{3}\frac{\partial^2W}{\partial x\partial y}\frac{\lambda B_0}{4\alpha}t^{-\lambda}\Delta t\cdot e^{\alpha(t)x}I_c^*.$$

После всех преобразований уравнение равновесия (3) пластинки в агрессивной среде можно записать в виде:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left[\left(\frac{\partial^2\Delta w}{\partial x^2}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2\Delta w}{\partial y^2}\right)I_1^*\right]+\frac{\partial^2}{\partial x\partial y}\left[\frac{\partial^2\Delta W}{\partial x\partial y}I_1^*\right]+\frac{\partial^2}{\partial y^2}\left[\left(\frac{\partial^2\Delta w}{\partial y^2}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2\Delta w}{\partial x^2}\right)I_1^*\right]=\frac{3}{4}\Delta q+\Delta q^\Phi \qquad (23)$$

где Δq^Φ — «фиктивная» нагрузка, отражающая влияние агрессивной среды.

$$\Delta q^\Phi=\frac{\lambda B_0}{4\alpha}t^{-\lambda}e^{\alpha(t)x}I_c^*\left\{\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left[\left(\frac{\partial^2W}{\partial x^2}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2W}{\partial y^2}\right)\right]+\frac{\partial^2}{\partial x\partial y}\left[\frac{\partial^2W}{\partial x\partial y}\right]+\frac{\partial^2}{\partial y^2}\left[\left(\frac{\partial^2W}{\partial y^2}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2W}{\partial x^2}\right)\right]\right\}\Delta t. \qquad (24)$$

Численная реализация уравнения (24) производится в два этапа. На первом производится пошаговое нагружение пластинки до заданного уровня нагрузки. При этом последовательно решаем уравнения вида:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left[\left(\frac{\partial^2\Delta w}{\partial x^2}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2\Delta w}{\partial y^2}\right)I_1^*\right]+\frac{\partial^2}{\partial x\partial y}\left(\frac{\partial^2\Delta w}{\partial x\partial y}I_1^*\right)+\frac{\partial^2}{\partial y^2}\left[\left(\frac{\partial^2\Delta w}{\partial y^2}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2\Delta w}{\partial x^2}\right)I_1^*\right]=\frac{3}{4}\Delta q \qquad (25)$$

На втором этапе по *деформированной* схеме производим расчет от достигнутого уровня нагружения при последовательном возрастании времени воздействия агрессивной среды на конструкционный материал. Вследствие этого прогиб пластинки растет, меняется ее НДС в соответствии с решением уравнения:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left[\left(\frac{\partial^2\Delta w}{\partial x^2}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2\Delta w}{\partial y^2}\right)I_1^*\right]+\frac{\partial^2}{\partial x\partial y}\left[\frac{\partial^2\Delta W}{\partial x\partial y}I_1^*\right]+\frac{\partial^2}{\partial y^2}\left[\left(\frac{\partial^2\Delta w}{\partial y^2}+\frac{1}{2}\frac{\partial^2\Delta w}{\partial x^2}\right)I_1^*\right]=\Delta q^\Phi. \qquad (26)$$

Для решения задачи используем метод последовательных нагружений (МПН) [3], в соответствии с которым разбиваем процесс нагружения пластинки на ряд этапов (шагов). На каждом шаге задаем малое приращение нагрузки или приращения времени и решаем линейную задачу при известных накопленных за предыдущие шаги параметрах НДС пластины. Полное решение задачи по всем параметрам НДС пластин для заданного уровня нагрузки / концентрации среды получается как сумма решений на отдельных этапах нагружения.

Рассмотрим задачу изгиба пластинки, взаимодействующей с агрессивной средой, при использовании обобщенной кинематической модели С. П. Тимошенко (ОТ). Для этой модели считаем, что слои пластинки, параллельные срединной плоскости, не давят друг на друга, а прогиб пластинки не зависит от координаты z. Кроме того, нормальный элемент не меняет длины, но искривляется и поворачивается относительно срединной плоскости пластины.

При использовании модели ОТ напряженно-деформированное состояние пластинок зависит от трех функций: прогиба пластинки $W(x, y)$ и двух углов поворота нормали на уровне срединной плоскости $\psi_x(x, y)$, $\psi_y(x, y)$. В этом случае удобно применять вывод соответствующих разрешающих уравнений задачи и граничных условий с помощью принципа Гамильтона — Остроградского.

Для применения этого принципа необходимо иметь выражения полной энергии деформирования пластинки и работы внешних сил. Чтобы получить выражение полной энергии изгиба пластинки, необходимы выражения для линейных и сдвиговых деформаций, которые в модели ОТ имеют вид:

$$\varepsilon_x=z\frac{\partial\psi_x}{\partial x}-\frac{4z^3}{3h^3}\left(\frac{\partial\psi_x}{\partial x}+\frac{\partial^2W}{\partial x^2}\right);\quad \varepsilon_y=z\frac{\partial\psi_y}{\partial y}-\frac{4z^3}{3h^2}\left(\frac{\partial\psi_y}{\partial y}+\frac{\partial^2W}{\partial y^2}\right);$$
$$\gamma_{xz}=\left(1-\frac{4z^2}{h^2}\right)\left(\psi_x+\frac{\partial W}{\partial y}\right);\quad \gamma_{yz}=\left(1-\frac{4z^2}{h^2}\right)\left(\psi_y+\frac{\partial W}{\partial x}\right); \qquad (27)$$
$$\gamma_{xy}=z\left(\frac{\partial\psi_x}{\partial y}+\frac{\partial\psi_y}{\partial x}\right)-\frac{4z^3}{3h^2}\left(\frac{\partial\psi_x}{\partial y}+\frac{\partial\psi_y}{\partial x}+2\frac{\partial^2W}{\partial x\partial y}\right).$$

Все математические выражения запишем в полных значениях напряжений и деформаций. Это позволяет получить разрешающие урав-

пения задачи и граничные условия в полных функциях, т. е. в наиболее информативном виде, а затем использовать метод последовательных нагружений (МПН) для инкрементального подхода к решению рассматриваемой задачи.

При использовании гипотез теории малых упруго-пластических деформаций А. А. Ильюшина физические соотношения для несжимаемого тела (при $\nu = 0{,}5$) с учетом деградации свойств материала $F(t)$ принимают вид [9]:

$$\sigma_x = \frac{4}{3}E_c^*\left(\varepsilon_x + \frac{1}{2}\varepsilon_y\right), \quad \sigma_y = \frac{4}{3}E_c^*\left(\varepsilon_y + \frac{1}{2}\varepsilon_y\right),$$
$$\tau_{xy} = \frac{1}{3}E_c^*\gamma_{xy}, \quad \tau_{yz} = \frac{1}{3}E_c^*\gamma_{yz}, \quad \tau_{xz} = \frac{1}{3}E_c^*\gamma_{xz}, \tag{28}$$

где σ_x, σ_y, τ_{xy}, τ_{xz}, τ_{yz} — нормальные и касательные напряжения.

В соответствии с принципом Гамильтона — Остроградского записываем для статической задачи уравнение:

$$\int_t\iiint_V(\delta A - \delta\Pi)dxdydzdt = 0. \tag{29}$$

С учетом пределов интегрирования $0 \le x \le a$, $0 \le y \le b$, $-h/2 \le x \le h/2$ имеем:

$$\delta\Pi = \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\int_0^b(\sigma_x\delta\varepsilon_x + \sigma_y\delta\varepsilon_y + \tau_{xy}\delta\gamma_{xy} + \tau_{xz}\delta\gamma_{xz} + \tau_{yz}\delta\gamma_{yz})dxdydz. \tag{30}$$

Варьируя в (30) функцию ψ_x, входящую в ε_x, γ_{xy}, γ_{xz}, и применяя интегрирование по частям, находим:

$$\delta\psi_x\Pi = \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^b\sigma_x\left(z - \frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta\psi_x dydz\Big|_0^a - \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\int_0^b\frac{\partial\sigma_x}{\partial x}\left(z - \frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta\psi_x dxdydz +$$
$$+ \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\tau_{xy}\left(z - \frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta\psi_x dxdz\Big|_0^b - \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\int_0^b\frac{\partial\tau_{xy}}{\partial y}\left(z - \frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta\psi_x dxdydz + \tag{31}$$
$$+ \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\int_0^b\tau_{xz}\left(1 - \frac{4z^2}{3h^2}\right)\delta\psi_x dxdydz.$$

Варьируя в уравнении (30) функцию ψ_y, входящую в ε_y, γ_{xy}, γ_{yz}, и применяя интегрирование по частям, получим:

$$\delta\psi_y\Pi = \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^b\sigma_y\left(z - \frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta\psi_y dydz\Big|_0^a - \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\int_0^b\frac{\partial\sigma_y}{\partial y}\left(z - \frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta\psi_y dxdydz +$$
$$+ \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\tau_{xy}\left(z - \frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta\psi_y dxdz\Big|_0^b - \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\int_0^b\frac{\partial\tau_{xy}}{\partial x}\left(z - \frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta\psi_y dxdydz + \tag{32}$$
$$+ \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\int_0^b\tau_{yz}\left(1 - \frac{4z^2}{3h^2}\right)\delta\psi_y dxdydz.$$

Варьируя в (30) функцию W, входящую в ε_x, ε_y, γ_{xy}, γ_{xz}, γ_{yz}, после применения интегрирования по частям записываем:

$$\delta_w\Pi = \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^b\sigma_x\left(-\frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta\left(\frac{\partial W}{\partial x}\right)dydz\Big|_0^a - \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\int_0^b\frac{\partial\sigma_x}{\partial x}\left(-\frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta W dxdydz\Big|_0^a +$$
$$+ \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\int_0^b\frac{\partial^2\sigma_x}{\partial x^2}\left(-\frac{4z^3}{3h^2}\right) + \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\sigma_y\left(-\frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta\left(\frac{\partial W}{\partial y}\right)dxdz\Big|_0^b - \tag{33}$$
$$- \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\int_0^b\frac{\partial\sigma_y}{\partial y}\left(-\frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta W dxdz\Big|_0^b + \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\int_0^b\frac{\partial^2\sigma_y}{\partial y^2}\left(-\frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta W dxdydz +$$
$$+ \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\tau_{xy}\left(-\frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta\left(\frac{\partial W}{\partial y}\right)dydz\Big|_0^a - \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\int_0^b\frac{\partial\tau_{xy}}{\partial x}\left(-\frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta W dxdz\Big|_0^b +$$
$$+ \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\int_0^b\frac{\partial^2\tau_{xy}}{\partial x\partial y}\left(-\frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta W dxdydz + \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\tau_{xy}\left(-\frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta\left(\frac{\partial W}{\partial y}\right)dydz\Big|_0^b -$$
$$- \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\int_0^b\frac{\partial\tau_{xy}}{\partial y}\left(-\frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta\left(\frac{\partial W}{\partial y}\right)dydz\Big|_0^a + \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\int_0^b\frac{\partial^2\tau_{xy}}{\partial x\partial y}\left(-\frac{4z^3}{3h^2}\right)\delta W dxdydz +$$
$$+ \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\tau_{xy}\left(1 - \frac{4z^2}{3h^2}\right)\delta\left(\frac{\partial W}{\partial y}\right)dydz\Big|_0^b - \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\int_0^b\frac{\partial\tau_{xy}}{\partial x}\left(1 - \frac{4z^2}{3h^2}\right)\delta W dxdydz +$$
$$+ \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^a\tau_{yz}\left(1 - \frac{4z^2}{3h^2}\right)\delta W dxdz\Big|_0^b - \int_{-h/2}^{h/2}\int_0^b\int_0^b\frac{\partial\tau_{yz}}{\partial y}\left(1 - \frac{4z^2}{3h^2}\right)\delta W dxdydz.$$

Вариацию работы внешних сил по прогибу W запишем в виде:

$$\delta_w A = \int_0^a\int_0^b q(x,y)\delta W dxdy. \tag{34}$$

Подставляя уравнения (31), (32), (33) и (34) в уравнение (30) и в дальнейшем считая вариации δW, $\delta\psi_x$, $\delta\psi_y$ произвольными, получаем систему разрешающих уравнений задачи изгиба физически нелинейной пластинки с учетом деградации свойств материала во времени [7]:

$$\int_{-h/2}^{h/2}\frac{\partial^2\sigma_x(t)}{\partial x^2}\left(-\frac{4z^3}{3h^2}\right)dz + \int_{-h/2}^{h/2}\frac{\partial^2\sigma_y(t)}{\partial y^2}\left(-\frac{4z^3}{3h^2}\right)dz + 2\int_{-h/2}^{h/2}\frac{\partial^2\tau_{xy}(t)}{\partial x\partial y}\left(-\frac{4z^3}{3h^2}\right)dz -$$
$$- \int_{-h/2}^{h/2}\frac{\partial\tau_{yz}(t)}{\partial x}\left(1 - \frac{4z^2}{3h^2}\right)dz - \int_{-h/2}^{h/2}\frac{\partial\tau_{xz}(t)}{\partial y}\left(1 - \frac{4z^2}{3h^2}\right)dz = q; \tag{35}$$
$$\int_{-h/2}^{h/2}\frac{\partial\sigma_x(t)}{\partial x}\left(z - \frac{4z^3}{3h^2}\right)dz + \int_{-h/2}^{h/2}\frac{\partial\tau_{xy}(t)}{\partial y}\left(z - \frac{4z^3}{3h^2}\right)dz - \int_{-h/2}^{h/2}\tau_{xz}(t)\left(1 - \frac{4z^2}{3h^2}\right)dz = 0;$$
$$\int_{-h/2}^{h/2}\frac{\partial\sigma_y(t)}{\partial y}\left(z - \frac{4z^3}{3h^2}\right)dz + \int_{-h/2}^{h/2}\frac{\partial\tau_{xy}(t)}{\partial x}\left(z - \frac{4z^3}{3h^2}\right)dz - \int_{-h/2}^{h/2}\tau_{yz}(t)\left(1 - \frac{4z^2}{3h^2}\right)dz = 0.$$

Кроме того, применение принципа Гамильтона — Остроградского позволяет также получить естественные граничные условия задачи.

При использовании допущений ОТ формула для вычисления интенсивности деформаций приобретает вид:

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_x\varepsilon_y + \frac{1}{4}\left(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{xz}^2 + \gamma_{yz}^2\right)} \tag{36}$$

Введем условное обозначение подкоренного выражения (36):

$$[W(x,y,z)] = \varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_x\varepsilon_y + \frac{1}{4}\left(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{xz}^2 + \gamma_{yz}^2\right). \tag{37}$$

В соответствии с деформационной теорией пластичности считаем, что зависимость $\sigma_i - \varepsilon_i$ аналогична экспериментально полученной диаграмме деформирования, т. е. зависимости $\sigma - \varepsilon$. При аппроксимации экспериментальной диаграммы деформирования материала кубической параболой выражение секущего модуля для модели ОТ можно записать в виде:

$$E_c^0 = E^0 - \frac{4m z^1}{3}[W(x,y,z)]. \qquad (38)$$

Рассмотрим отдельно каждый интеграл, входящий в (35):

$$\int_{-h/2}^{h/2} \frac{\partial^2 \sigma_x(t)}{\partial x^2} = -\frac{16}{9h^2} e^b \left[\int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)k} \frac{\partial^2 E_c^0}{\partial x^2} \left(\varepsilon_x + \frac{1}{2}\varepsilon_y \right) z^3 dz + 2 \int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)k} \frac{\partial E_c^0}{\partial x} \left(\frac{\partial \varepsilon_x}{\partial x} + \frac{1}{2}\frac{\partial \varepsilon_y}{\partial x} \right) z^3 dz + \right.$$
$$\left. + \int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)k} E_c^0 \left(\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial x^2} + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} \right) z^3 dz \right];$$

$$\int_{-h/2}^{h/2} \frac{\partial^2 \sigma_y(t)}{\partial y^2} = -\frac{16}{9h^2} e^b \left[\int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)k} \frac{\partial^2 E_c^0}{\partial y^2} \left(\varepsilon_y + \frac{1}{2}\varepsilon_x \right) z^3 dz + 2 \int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)k} \frac{\partial E_c^0}{\partial y} \left(\frac{\partial \varepsilon_x}{\partial y} + \frac{1}{2}\frac{\partial \varepsilon_y}{\partial y} \right) z^3 dz + \right.$$
$$\left. + \int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)k} E_c^0 \left(\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial y^2} \right) z^3 dz \right];$$

$$\int_{-h/2}^{h/2} \frac{\partial^2 \tau_{xy}(t)}{\partial x \partial y} \left(-\frac{4z^3}{3h^2} \right) dz = -\frac{4}{9h^2} e^b \left[\int_{-h/2}^{h/2} e^{az} \gamma_{xy} \frac{\partial^2 E_c^0}{\partial x^2} z^3 dz + 2 \int_{-h/2}^{h/2} e^{az} \frac{\partial E_c^0}{\partial x} \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial x} z^3 dz + \int_{-h/2}^{h/2} e^{az} E_c^0 \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x^2} z^3 dz \right];$$

$$\int_{-h/2}^{h/2} \frac{\partial \tau_{xz}(t)}{\partial x} \left(1 - \frac{4z^2}{3h^2} \right) dz = \frac{1}{3} e^b \left[\int_{-h/2}^{h/2} e^{az} \frac{\partial E_c^0}{\partial x} \gamma_{xz} \left(1 - \frac{4z^2}{3h^2} \right) dz + \int_{-h/2}^{h/2} e^{az} E_c^0 \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial x} \left(1 - \frac{4z^2}{3h^2} \right) dz \right];$$

$$\int_{-h/2}^{h/2} \frac{\partial \tau_{yz}(t)}{\partial y} \left(1 - \frac{4z^2}{3h^2} \right) dz = \frac{1}{3} e^b \left[\int_{-h/2}^{h/2} e^{az} \frac{\partial E_c^0}{\partial y} \gamma_{yz} \left(1 - \frac{4z^2}{3h^2} \right) dz + \int_{-h/2}^{h/2} e^{az} E_c^0 \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial y} \left(1 - \frac{4z^2}{3h^2} \right) dz \right]; \qquad (39)$$

$$\int_{-h/2}^{h/2} \frac{\partial \sigma_x(t)}{\partial x} \left(z - \frac{4z^3}{3h^2} \right) dz = e^b \left[\int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)k} \frac{\partial E_c^0}{\partial x} \left(\varepsilon_x + \frac{1}{2}\varepsilon_y \right) \left(z - \frac{4z^3}{3h^2} \right) dz + \int_{h/2}^{h/2} e^{az} E_c^0 \left(\frac{\partial \varepsilon_x}{\partial x} + \frac{1}{2}\frac{\partial \varepsilon_y}{\partial x} \right) \left(z - \frac{4z^3}{3h^2} \right) dz \right];$$

$$\int_{-h/2}^{h/2} \frac{\partial \tau_{xy}(t)}{\partial y} \left(z - \frac{4z^3}{3h^2} \right) dz = \frac{1}{3} e^b \int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)k} \left(\frac{\partial E_c^0}{\partial y} \gamma_{xy} + E_c^0 \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial y} \right) \left(z - \frac{4z^3}{3h^2} \right) dz;$$

$$\int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy}(t) \left(1 - \frac{4z^2}{3h^2} \right) dz = \frac{1}{3} e^b \int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)k} E_c^0 \gamma_{xy} \left(1 - \frac{4z^2}{3h^2} \right) dz;$$

$$\int_{-h/2}^{h/2} \frac{\partial \sigma_y(t)}{\partial y} \left(z - \frac{4z^3}{3h^2} \right) dz = e^b \int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)k} \left[\frac{\partial E_c^0}{\partial y} \left(\varepsilon_y + \frac{1}{2}\varepsilon x \right) + E_c^0 \left(\frac{\partial \varepsilon_y}{\partial y} + \frac{1}{2}\frac{\partial \varepsilon_x}{\partial y} \right) \right] \left(z - \frac{4z^3}{3h^2} \right) dz;$$

$$\int_{-h/2}^{h/2} \frac{\partial \tau_{xy}(t)}{\partial x} \left(z - \frac{4z^3}{3h^2} \right) dz = \frac{1}{3} e^{a(t)k} \left(\frac{\partial E_c^0}{\partial x} \gamma_{xy} + E_c^0 \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial x} \right) \left(z - \frac{4z^3}{3h^2} \right) dz;$$

$$\int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy}(t) \left(1 - \frac{4z^2}{3h^2} \right) dz = \frac{1}{3} e^b \int_{-h/2}^{h/2} e^{a(t)k} E_c^0 \gamma_{xy} \left(1 - \frac{4z^2}{3h^2} \right) dz.$$

Введем условные обозначения переменных жесткостей в виде:

$$J = \int_{-h/2}^{h/2} E_c \left(-\frac{4z^3}{3h^2} \right)^2 dz; \quad K = \int_{-h/2}^{h/2} E_c \left(1 - \frac{4z^2}{3h^2} \right)^2 dz;$$
$$L = \int_{-h/2}^{h/2} E_c \left(z - \frac{4z^3}{3h^2} \right)^2 dz; \quad I = \int_{-h/2}^{h/2} E_c \left(z - \frac{4z^3}{3h^2} \right) \left(-\frac{4z^3}{3h^2} \right) dz. \qquad (40)$$

После необходимых преобразований выражений (39) систему уравнений равновесия (35) пластинки, работающей в агрессивной среде, для модели ОТ на этапе нагружения пластинки малыми ступенями распределенной поперечной нагрузки МПН можно записать в виде:

Рисунки к статье В. В. Петрова, О. В. Пекиной и П. В. Селяева «Инкрементальные модели расчета пластинок, взаимодействующих с агрессивными средами»

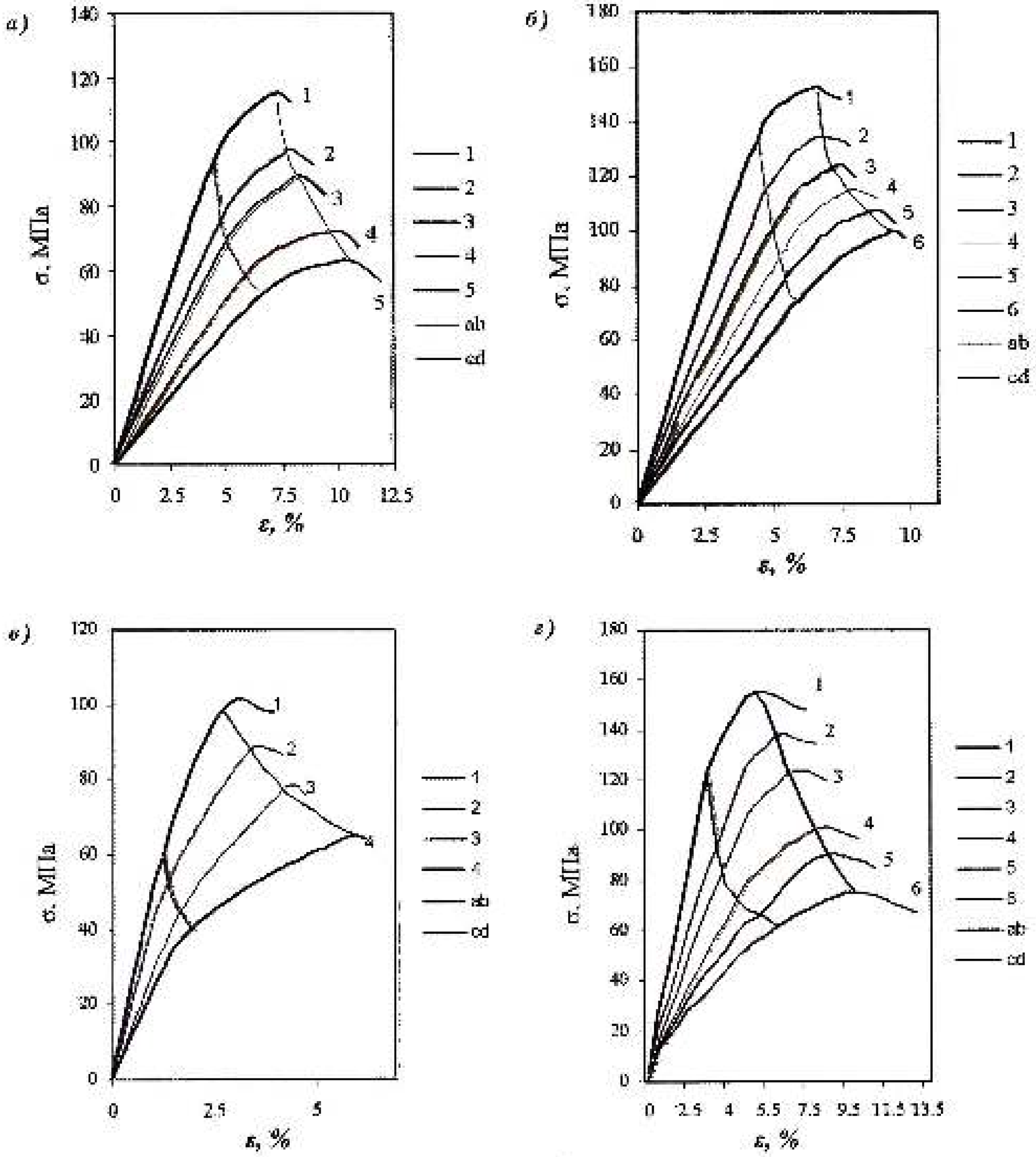


Рисунок 2

Диаграммы деформирования бетонов: а, б — полиэфирных, выдержанных в воде; в — полиэфирных, выдержанных в водных растворах серной кислоты; г — эпоксидных, выдержанных в водных растворах едкого натра; 1 — в начальный момент времени, 2 — 10 суток выдержки в агрессивной среде, 3 — 60 суток выдержки, 4 — 170 суток, 5 — 265 суток, 6 — 395 суток

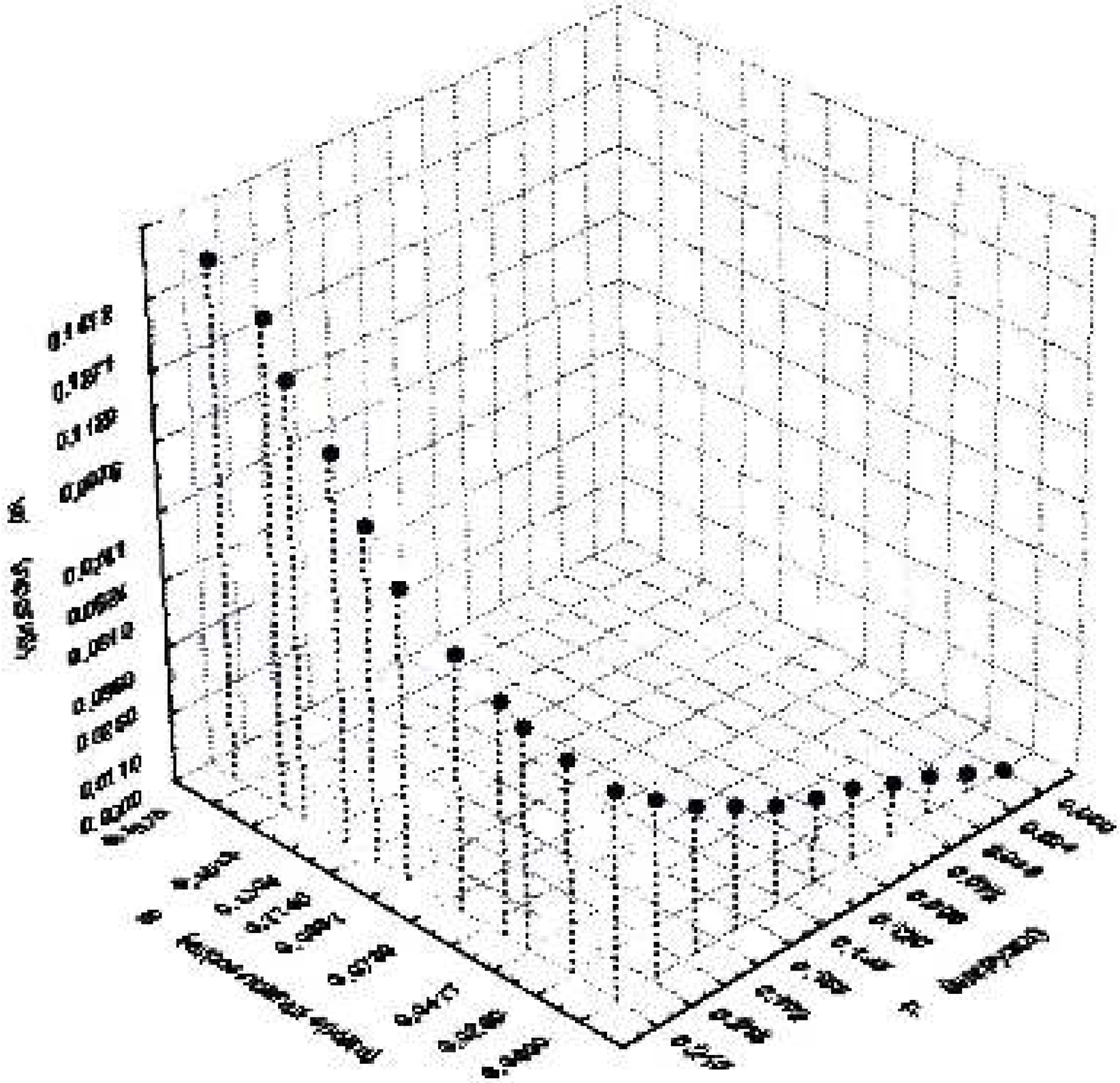


Рисунок 4

Методика вычисления расчетов пластинки на изгиб, работающей при воздействии агрессивной среды для модели Кирхгофа — Лява

$$
\begin{Bmatrix}
L_{xx}\left((\Delta w)_x\lambda_x+\frac{1}{2}(\Delta w)_y\lambda_y\right)+(\Delta L)_x\left(\psi_{,x}\lambda_x+\frac{1}{2}\psi_{,y}\lambda_y\right)+L_{xx}\left((\Delta w)_x\lambda_{xx}+\frac{1}{2}(\Delta w)_{xy}\right)+\\
+(\Delta L)_x\left((W)_{xx}+\frac{1}{2}(W)_{xy}\right)+L_x\left(2\Delta w_{,x}\lambda_{xx}+(\Delta w)_{,y}\lambda_{xy}\right)+(\Delta L)_x\left(\psi_{,x}\lambda_{xx}+\psi_{,y}\lambda_{xy}\right)+\\
+L_x\left((\Delta w)_x\lambda_{xxx}+(\Delta w)_{xyy}\right)+(\Delta L)_x\left((W)_x\lambda_{xxx}+(W)_{xyy}\right)+L\left((\Delta\psi)_{,x}\lambda_{xxx}+\frac{1}{2}(\Delta\psi)_{,y}\lambda_{xxy}\right)+\\
+\Delta L\left(\psi_{,x}\lambda_{xxx}+\frac{1}{2}\psi_{,y}\lambda_{xxy}\right)+L\left((\Delta w)_x\lambda_{xxxx}+\frac{1}{2}(\Delta w)_{xxxy}\right)+\Delta L\left((W)_x\lambda_{xxxx}+\frac{1}{2}(W)_{xxxy}\right)+\\
+L_{xy}\left((\Delta\psi)_{,x}\lambda_x+\frac{1}{2}(\Delta\psi)_{,y}\lambda_x\right)+(\Delta L)_y\left(\psi_{,x}\lambda_y+\frac{1}{2}\psi_{,y}\lambda_x\right)+L_{xy}\left((\Delta w)_x\lambda_{xy}+\frac{1}{2}(\Delta w)_y\lambda_{xx}\right)+\\
+(\Delta L)_{xy}\left((W)_{xy}+\frac{1}{2}(W)_{xx}\right)+L_y\left(2\Delta w_{,y}\lambda_{xy}+(\Delta w)_{,x}\lambda_{yy}\right)+(\Delta L)_y\left(\psi_{,y}\lambda_{xy}+\psi_{,x}\lambda_{yy}\right)+\\
+L_y\left((\Delta w)_{xyy}+(\Delta w)_{yyy}\right)+(\Delta L)_y\left((W)_{xyy}+(W)_{yyy}\right)+L\left((\Delta\psi)_{,y}\lambda_{xyy}+\frac{1}{2}(\Delta\psi)_{,x}\lambda_{yyy}\right)+\\
+\Delta L\left(\psi_{,y}\lambda_{xyy}-\frac{1}{2}\psi_{,x}\lambda_{yyy}\right)+L\left((\Delta w)_{xxyy}+\frac{1}{2}(\Delta w)_{yyyy}\right)+\Delta L\left((W)_{xxyy}+\frac{1}{2}(W)_{yyyy}\right)
\end{Bmatrix}+
$$

$$
+2\begin{Bmatrix}
L_{xx}\left((\Delta\psi)_{,y}+(\Delta\psi)_{,x}\right)+(\Delta L)_{xy}\left(\psi_{,y}+\psi_{,x}\right)+\\
+2\left(L_{xy}(\Delta w)_{xy}+(\Delta L)_{xy}(W)_{xy}+L(\Delta w)_{xxyy}+\Delta L(W)_{xxyy}\right)+L_x\left((\Delta w)_{xy}+(\Delta\psi)_{,xy}\right)+\\
+(\Delta L)_x\left(\psi_{,xy}+\psi_{,xy}\right)+L_y\left((\Delta w)_{xx}-(\Delta\psi)_{,xy}\right)+(\Delta L)_y\left(\psi_{,xx}+\psi_{,yy}\right)+\\
+2\begin{pmatrix}L_{xy}(\Delta w)_{xy}+(\Delta L)_{xy}(W)_{xy}+L_y(\Delta w)_{xxy}+(\Delta L)_y(W)_{xxy}+L\left((\Delta\psi)_{,xxy}+(\Delta\psi)_{,yyy}\right)+\\
+\Delta L\left(\psi_{,xxy}+\psi_{,yyy}\right)\end{pmatrix}
\end{Bmatrix}-
$$

$$
-\left[\begin{Bmatrix}
K_{xx}\left((\Delta\psi)_{,y}+(\Delta w)_x\right)+(\Delta K)_x\left(\psi_{,x}\right)+(W)_x\right)-K\left((\Delta\psi)_{,x}\lambda_x+(\Delta w)_{xx}\right)+\\
+(\Delta K)_x\left(\psi_{,x}\lambda_x-(W)_{xx}\right)+K_y\left((\Delta\psi)_{,x}\right)+(\Delta w)_{,x}\lambda_y\right)+(\Delta K)_y\left(\psi_{,x}\right)+(W)_y\right)+\\
+K\left((\Delta\psi)_{,y}\right)+(\Delta w)_{xy}\right)+(\Delta K)_x\left(\psi_{,y}\right)-(W)_{xy}\right)
\end{Bmatrix}\right]=3\Delta q;
$$

$$
\begin{Bmatrix}
4\left(L_x\left((\Delta w)_{,x}\lambda_x+\frac{1}{2}(\Delta\psi)_{,x}\lambda_y\right)\right)+(\Delta L)_x\left(\psi_{,x}\lambda_x+\frac{1}{2}\psi_{,x}\lambda_y\right)+L_x\left((\Delta w)_{xx}+\frac{1}{2}(\Delta w)_{xy}\right)+\\
+(\Delta L)_x\left((W)_{xx}+\frac{1}{2}(W)_{xy}\right)+L\left((\Delta w)_{,x}\lambda_{xx}+\frac{1}{2}(\Delta w)_{,y}\lambda_{xy}\right)+(\Delta L)\left(\psi_{,x}\lambda_{xx}+\frac{1}{2}\psi_{,y}\lambda_{xy}\right)+\\
+L\left((\Delta w)_{xxx}+\frac{1}{2}(\Delta w)_{xxy}\right)+(\Delta L)\left((W)_{xxx}+\frac{1}{2}(W)_{xxy}\right)+L_x\left((\Delta\psi)_{,x}\lambda_y+(\Delta\psi)_{,y}\lambda_x\right)+\\
(\Delta L)_y\left(\psi_{,x}\lambda_y+\psi_{,y}\lambda_x\right)+2\left(L_x(\Delta w)_{xy}+(\Delta L)_y(W)_{xy}\right)+(\Delta L)\left(\psi_{,xx}\lambda_y+\psi_{,xy}\lambda_x\right)+\\
+L\left((\Delta\psi)_{,xy}\lambda_y+(\Delta\psi)_{,yy}\lambda_x\right)+2\left(L(\Delta w)_{xxy}+(\Delta L)(W)_{xxy}\right)+\\
-K\left((\Delta w)_{,x}\lambda_x+(\Delta w)_{,y}\lambda_y\right)-(\Delta K)\left(\psi_{,x}\lambda_x+(W)_{,y}\lambda_y\right)
\end{Bmatrix}=0
$$

$$
\begin{Bmatrix}
4\left(L_y\left((\Delta w)_{,y}\lambda_y+\frac{1}{2}(\Delta\psi)_{,y}\lambda_x\right)\right)+(\Delta L)_y\left(\psi_{,y}\lambda_y+\frac{1}{2}\psi_{,y}\lambda_x\right)+L_y\left((\Delta w)_{yy}+\frac{1}{2}(\Delta w)_{xy}\right)+\\
+(\Delta L)_y\left((W)_{yy}+\frac{1}{2}(W)_{xy}\right)+L\left((\Delta\psi)_{,y}\lambda_{yy}-\frac{1}{2}(\Delta w)_{,x}\lambda_{xy}\right)+(\Delta L)\left(\psi_{,y}\lambda_{yy}+\frac{1}{2}\psi_{,x}\lambda_{xy}\right)+\\
+L\left((\Delta w)_{xyy}+\frac{1}{2}(\Delta w)_{xxy}\right)+(\Delta L)\left((W)_{xyy}+\frac{1}{2}(W)_{xxy}\right)+L_y\left((\Delta\psi)_{,y}\lambda_y+(\Delta\psi)_{,x}\lambda_x\right)+\\
+(\Delta L)_y\left((\Delta\psi)_{,y}\lambda_y+\psi_{,x}\lambda_x\right)+2\left(L_y(\Delta w)_{xy}+(\Delta L)_y(W)_{xy}\right)+(\Delta L)\left(\psi_{,yy}\lambda_y+\psi_{,xy}\lambda_x\right)+\\
+L\left((\Delta\psi)_{,yy}\lambda_y+(\Delta w)_{,xy}\lambda_x\right)+2\left(L(\Delta w)_{xyy}+(\Delta L)(W)_{xyy}\right)-K\left((\Delta\psi)_{,y}\lambda_y+(\Delta w)_{,x}\lambda_x\right)+\\
-(\Delta K)\left(\psi_{,y}\lambda_y+(W)_{,x}\lambda_x\right)
\end{Bmatrix}=0
$$

(41)

Для аналитического исследования и сокращения в дальнейшем объема записи перепишем уравнения (41) в символическом виде, где смысл введенных обозначений ясен из анализа этих уравнений:

$$4A + 2B - C = 3\Delta q;\ D = 0;\ E = 0. \quad (42)$$

На втором этапе по *деформированной* схеме производим расчет для достигнутого уровня нагружения при последовательном возрастании времени воздействия агрессивной среды на конструкционный материал. После достижения нагрузкой заданного уровня q и решения системы уравнений (41) становятся известны значения функций W, ψ_x, ψ_y, что позволяет далее исследовать задачу изгиба пластинки от воздействия агрессивной среды во времени, которое меняется с шагом Δt в соответствии с решением системы уравнений (43).

$$\begin{aligned}
&4A+2B-C=\Delta t\lambda(4A+2B-C)+\\
&+\Delta\Omega\lambda e^{\omega t}\begin{bmatrix}
(J)_{xx}\left(\psi_x\lambda_x+\frac{1}{2}\psi_y\lambda_y\right)+(J)_{xy}\left((W)_{xx}+\frac{1}{2}(W)_{yy}\right)+(J)_x\left(\psi_x\lambda_{xx}+\psi_y\lambda_{xy}\right)+\\
+(J)_y\left((W)_{xxx}+(W)_{xyy}\right)+J\left(\psi_x\lambda_{xxx}+\frac{1}{2}\psi_y\lambda_{xxy}\right)+J\left((W)_{xxxx}+\frac{1}{2}(W)_{xxyy}\right)+\\
+(J)_{xy}\left(\psi_x\lambda_y+\frac{1}{2}\psi_y\lambda_x\right)+(J)_{yy}\left((W)_{xy}+\frac{1}{2}(W)_{xx}\right)+(J)_y\left(\psi_x\lambda_{xy}+\psi_y\lambda_{xx}\right)+\\
+(J)_x\left((W)_{xxy}+(W)_{xyy}\right)+J\left(\psi_x\lambda_{xxy}+\frac{1}{2}\psi_y\lambda_{xxx}\right)+J\left((W)_{xxxy}+\frac{1}{2}(W)_{xxyy}\right)
\end{bmatrix}+\\
&+\Delta\Omega\lambda e^{\omega t}\begin{bmatrix}
(J)_{xy}\left(\psi_x\lambda_y+\psi_y\lambda_x\right)+2\left((J)_{xx}(W)_{xy}+J(W)_{xxy}+\right.\\
\left.+(J)_x\left(\psi_x\lambda_{xy}+\psi_y\lambda_{yy}\right)+(J)_y\left(\psi_x\lambda_{xx}+\psi_y\lambda_{xy}\right)\right.\\
\left.+2\left((J)_x(W)_{xxy}+(J)_y(W)_{xxx}\right)+J\left(\psi_x\lambda_{xxy}+\psi_y\lambda_{xyy}\right)\right]+\\
&+\Delta\Omega\lambda e^{\omega t}\begin{bmatrix}
(K)_x\left(\psi_x+(W)_x\right)+K\left(\psi_x\lambda_x+(W)_{xx}\right)+\\
(K)_y\left(\psi_y+(W)_y\right)+K\left(\psi_y\lambda_y+(W)_{xy}\right)
\end{bmatrix}
\end{aligned} \quad (43)$$

$$D=\Delta t D\lambda+\Delta\Omega\lambda e^{\omega t}\times$$
$$\times\begin{bmatrix}
4(L)_x\left(\psi_x\lambda_x+\frac{1}{2}\psi_y\lambda_y\right)+4(J)_x\left((W)_{xx}+\frac{1}{2}(W)_{xy}\right)+4L\left(\psi_x\lambda_{xx}+\frac{1}{2}\psi_y\lambda_{xy}\right)+\\
+4J\left((W)_{xxx}+\frac{1}{2}(W)_{xxy}\right)+(L)_y\left(\psi_x\lambda_y+\psi_y\lambda_x\right)+2(J)_y(W)_{xy}+\\
+L\left(\psi_x\lambda_{xy}+\psi_y\lambda_{yy}\right)+2J(W)_{xxy}-K\left(\psi_x+(W)_x\right)
\end{bmatrix};$$

$$E=\Delta tE\lambda+\Delta\Omega\lambda e^{\omega t}\times$$
$$\times\begin{bmatrix}
4(L)_y\left(\psi_y\lambda_y+\frac{1}{2}\psi_x\lambda_x\right)+4(J)_y\left((W)_{yy}+\frac{1}{2}(W)_{xy}\right)+4L\left(\psi_y\lambda_{yy}+\frac{1}{2}\psi_x\lambda_{xy}\right)+\\
+4J\left((W)_{xyy}+\frac{1}{2}(W)_{xxy}\right)+(L)_x\left(\psi_y\lambda_y+\psi_x\lambda_x\right)+2(J)_x(W)_{xy}+\\
+L\left(\psi_y\lambda_{xy}+\psi_x\lambda_{yy}\right)+2(J)_x(W)_{xy}+\\
+L\left(\psi_y\lambda_{xy}+\psi_x\lambda_{xx}\right)+2\left[L(W)_{xy}-K\left(\psi_y+(W)_y\right)\right]
\end{bmatrix}.$$

Поставленная задача изгиба физически-нелинейной пластинки с учетом величины концентрации агрессивной среды в материале при соответствующих граничных условиях, при применении метода конечных разностей (МКР) описывается замкнутой системой линейных алгебраических уравнений, записанных в инкрементальной форме.

На каждом шаге расчета производится проверка наступления опасного состояния в

Таблица

Результаты расчета пластинки на изгиб, работающей при воздействии агрессивной среды для модели Кирхгофа — Лява

Шаг	Величина нагрузки, P	Концентрация агрессивной среды, B	Прогиб, W
1	0,0240	0,0000	0,0000
3	0,0720	0,0000	0,0160
6	0,1440	0,0000	0,0300
8	0,1920	0,0000	0,0430
10	0,2400	0,0000	0,0610
11	0,2400	0,0209	0,0624
13	0,2400	0,0522	0,0682
16	0,2400	0,1148	0,0976
18	0,2400	0,1513	0,1271
20	0,2400	0,1878	0,1506

наиболее нагруженной точке материала конструкции. В случае возникновения опасной величины напряженного состояния расчет прекращается. Результаты расчетов по предложенной выше методике с использованием модели Кирхгофа представлены в табл. На рис. 4 приведен трехмерный график, иллюстрирующий предложенную методику решения поставленной задачи.

В заключение отметим, что на основе шагового МПВП В. В. Петрова и МКР разработан универсальный эффективный алгоритм расчета нелинейно-упругих пластин, работающих в агрессивных средах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Наумова Г. А.** Анализ экспериментальных данных по кинетике коррозионных повреждений конструкций с защитными покрытиями / Г. А. Наумова // Современные проблемы нелинейной механики конструкций, взаимодействующих с агрессивными средами : сб. науч. тр. межвуз. научн. конф. — Саратов, 2000. — С. 76—83.

2. **Овчинников И. Г.** Определение долговечности элементов конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой / И. Г. Овчинников, В. В. Петров // Строительная механика и расчет сооружений. — 1982. — № 2. — С. 13—18.

3. **Петров В. В.** Метод последовательного нагружения в нелинейной теории пластин и оболочек / В. В. Петров. — Саратов : Изд-во СГУ, 1975. — 119 с.

4. **Петров В. В.** Алгоритм расчета элементов конструкций с учетом физической нелинейности материала / В. В. Петров // Вестн. регионального отд-ния РААСН [Н. Новгород]. — 2002.— Вып. 5.

5. **Петров В. В.** Уравнения изгиба пластинок, учитывающие влияние концентрации агрессивной среды в ее материале / В. В. Петров // Вестник РААСН [Белгород]. — 2005. — Вып. 9. — С. 315—320.

6. **Петров В. В.** Построение инкрементальных соотношений для физически нелинейного материала с развивающейся неоднородностью / В. В. Петров // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред. — Саратов : Сарат. гос. ун-т, 2005. — С. 6—10.

7. **Петров В. В.** / В. В. Петров, И. В. Кривошеин, О. В. Пенина // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред. — Саратов : Сарат. гос. ун-т, 2005. — С. 22—30.

8. **Селяев П. В.** Диаграммы деформирования композитных материалов при воздействиях жидких агрессивных сред / П. В. Селяев // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред. — Саратов : Сарат. гос. ун-т, 2006. — С. 46—52.

9. **Timoshenko S. P.** On the correction for shear of the differential eguation for Transverse vibration of Prismatic Bars / S. P. Timoshenko. — Phil. Magaz. — 1921. — № 41. — P. 6.

Поступила 16.09.08.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ СВОЙСТВ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Н. В. Черушова, Е. А. Митина, М. М. Касимкина, В. В. Афонин, В. Т. Ерофеев

Разработана методика оценки декоративных свойств покрытий, позволяющая моделировать изменение цвета декоративных материалов различного состава и назначения и оценивать изменение данных свойств под воздействием эксплуатационных факторов. Методика использована при изучении изменения цвета лакокрасочных материалов на основе эпоксидных связующих в условиях воздействия повышенных температур и химически агрессивных сред.

В последние годы проблеме повышения долговечности конструкций зданий и сооружений из бетона и железобетона уделяется все большее внимание. Наблюдаемая на протяжении последних десятилетий довольно устойчивая тенденция повышения степени агрессивного воздействия на строительные конструкции привела к тому, что на сегодняшний день от 30 до 45 % всех конструктивных элементов зданий работают в неблагоприятных условиях воздействия агрессивных сред различной природы, потери от коррозии в стране составляют десятки миллиардов рублей ежегодно, а ограниченный срок службы данных строительных материалов в агрессивных средах вызвал нарастающий объем работ по ремонту и восстановлению конструкций из бетона и железобетона. При малой ремонтопригодности материалов на основе цементных связующих возникает задача гарантировать требуемые сроки службы бетона и железобетона при проектировании и возведении зданий и сооружений. Для повышения долговечности строительных конструкций необходимо принимать меры, снижающие или исключающие агрессивные воздействия на них. Одним из таких способов, позволяющих продлить срок службы конструктивных элементов, является применение различных защитных покрытий на основе полимерных связующих. Применение полимеров в данном качестве объясняется возможностью приготовления на их основе материалов самых разных рецептур и составов, позволяющих получать покрытия, отвечающие современным требованиям с точки зрения повышения долговечности конструкций и улучшения их эстетического вида.

Существующие защитные покрытия по бетону и железобетону подразделяют на лакокрасочные легкие; мастичные усиленные, в том числе армированные, и полимербетонные. Для изготовления защитных покрытий конструкций зданий и сооружений используются различные виды полимерных материалов, выбираемых с учетом условий эксплуатации и требований к покрытиям. В строительной практике нашли применение материалы на основе перхлорвиниловых смол, сополимеров винилхлорида, поливинилацеталей, фторсодержащих полимеров, эпоксидных смол, полиуретанов, фуриловых смол, нефтеполимерных смол, элементоорганических соединений, хлорсульфированного полиэтилена, хлоркаучуковых составов, тиоколов, алкидных смол.

Весьма значительным классом полимеров, использующихся для создания защитных покрытий по бетонным и железобетонным строительным конструкциям, являются эпоксидные композиции. Эффективное использование данных материалов обусловлено положительными свойствами эпоксидного полимера. Отличительными качествами эпоксидных смол в сравнении с другими являются высокая ударная прочность и стойкость к истиранию, повышенная прочность при изгибе, низкая деформативность, хорошая химическая стойкость и водостойкость. Покрытия на их основе отличаются твердостью, хорошей адгезией к металлам, бетонам и пластическим массам, незначительной усадкой при твердении, атмосфероустойчивостью, бензостойкостью, водостойкостью, кисло-

то- и щелочестойкостью, высокими электроизоляционными свойствами.

Для придания цвета эпоксидным покрытиям в их состав вводят различные пигменты: диоксид титана, оксид хрома, железооксидный пигмент, свинцовый крон, фталоцианиновые пигменты, охру, сажу, железный сурик и т. д. Очень важным для защитных декоративных покрытий в данном случае является прогнозирование изменения цветовой окраски материалов под воздействием различных агрессивных факторов. На сегодняшний день в практике существуют три способа определения и описания цвета ЛКМ: визуальное определение, сравнение с контрольным образцом (эталоном), количественное измерение и числовое выражение.

Основной формой нормирования цвета эмалей и красок при сравнении его с эталонами является картотека, включающая 9 групп карточек разных цветов, где каждому цвету соответствует определенный номер: 1-я группа (красный) — № 1—99; 2-я группа (оранжевый) — № 100—199; 3-я группа (желтый) — № 200—299; 4-я группа (зеленый) — № 300—399; 5-я группа (синий) — № 400—499; 6-я группа (серый, белый, черный) — № 500—599 и 800—899; 7-я группа (коричневый) — № 600—699; 8-я группа (защитный) — № 700—799; 9-я группа (прочие) — № 900—999.

Для количественной оценки цвета необходимо его измерить, т. е. выразить цвет, полученный в результате смешения трех основных цветов в выбранной системе измерения через красный, зеленый и синий цвета, взятые в соответствующих пропорциях. Математически цвет может быть выражен следующим уравнением:

$$F = aA + bB + cC,$$

где F — измеряемый цвет; a, b, c — трехцветные координаты цвета в системе координат ABC; A, B, C — основные цвета принятой системы.

В качестве стандартной общепринятой колориметрической системы принята система координат, основными цветами которой служат три реально невоспроизводимых цвета, выбранные так, чтобы реальные цвета находились внутри цветового треугольника. Координаты получают расчетным путем, используя данные замеров, полученные с помощью спектрофотометров или колориметров.

В то же время исследования цвета большого числа лакокрасочных материалов показали, что цветовые характеристики (доминирующая длина волны, чистота и яркость) покрытия не всегда дают правильное представление о его цветовом тоне, насыщенности (чистоте цвета) и светлоте. Если расположить образцы в ряд по возрастанию длин волн, то оказывается, что они не воспроизводят равномерный ряд цветов покрытий, получаемых в результате визуального осмотра. Это особенно характерно для таких цветов, как коричневые, бежевые, кремовые и др. Например, два лакокрасочных покрытия желтого и защитного цветов отличаются по чистоте цвета, но характеризуются одинаковой доминирующей длиной волны. Также два покрытия визуально не отличаются по цвету, но имеют различные координаты цвета, следовательно, разную доминирующую длину волны.

Таким образом, учитывая многообразие цветовой гаммы современных защитных покрытий, а также длительность и недостаточную точность проведения натурных исследований, необходимо разработать метод оценки декоративных свойств покрытий, позволяющий быстро и качественно моделировать изменение цвета декоративных материалов различного состава и назначения и оценивать изменение данных свойств под воздействием эксплуатационных сред разнообразной природы.

Данная задача может быть решена за счет применения современной компьютерной техники и периферийных устройств. Разработка методики проводилась в два этапа. На первом этапе методом прямого сканирования при помощи прибора HP Scan Jet 5p исследовались образцы с получением растровых изображений и сохранялись в графических файлах типа *.jpeg.

На втором этапе для цифровой обработки отсканированного изображения была составлена программа в среде MATLAB и пакете прикладных программ Image Processing Toolbox (IPT). Изменение цветовой окраски отслеживалось по двум показателям: насыщенности и цветовому тону.

При компьютерной обработке образец отображается в дискретном виде. Площадь образца разделяется на пиксели, которые согласуются с цифровой обработкой сигнала. Для обработки данных используется среда программы MATLAB, которая позволяет:

1) показывать цвет каждой точки образца. количество точек зависит от способа обработки изображения;

2) производить численный анализ изображения;

3) автоматизировать процесс обработки изображения на основе встроенных функций программы MATLAB и внутреннего языка программирования.

На данную методику было получено свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004611979 «Анализ цветности лакокрасочных материалов».

С течением времени свойства полимерного материала изменяются, что отражается на его работоспособности. Такие изменения могут происходить как бы самопроизвольно. Однако поскольку материал находится в контакте с окружающей его атмосферой, характеризующейся различным составом, переменными значениями относительной влажности и температуры, необходимо учитывать влияние этих факторов. Наиболее распространенным и практически важным активатором, способствующим изменению свойств покрытий, является температура.

Полимерное связующее ЛКП при действии высоких температур на воздухе подвергается термоокислительной деструкции, в результате чего масса пленки уменьшается, изменяется цвет, что приводит к полной или частичной потере защитных свойств. Кроме того, для каждого класса полимеров характерен определенный температурный предел, после которого полимерное вещество начинает разрушаться.

В этой связи были проведены исследования изменения цвета защитных материалов на основе эпоксидных смол при воздействии высокой температуры. При проведении исследований по разработанной методике были рассмотрены эпоксидные составы со следующими пигментами: кобальт фиолетовый темный и железоокисный желтый. Образцы были подвержены воздействию повышенной температуры 80 °С в течение 6 ч со сканированием результатов через каждый час. Для определения изменения цветового тона отсканированное изображение разделили на спектр солнечного света. Из результатов эксперимента следует, что при воздействии повышенных температур наиболее существенное изменение цветового тона наблюдается у композитов, где в качестве пигмента применялся железоокисный желтый. У материала с кобальтом фиолетовым темным изменение цвета при воздействии температуры незначительное (табл. 1).

Основное преимущество полимеров — высокое химическое сопротивление. Они обладают длительной стойкостью в большинстве агрессивных сред: кислотах, щелочах, растворителях различной природы, нефтепродуктах и др. Деградация материалов в агрессивных средах происходит в результате химического взаимодействия их компонентов с компонентами материала. Темп потери прочности КСМ в агрессивных средах зависит от температуры, концентрации среды и длительности воздействия на композит, а также от проницаемости материала. В процессе эксплуатации в химически агрессивных средах медленно

Таблица 1

Изменение цветовых тонов спектра

Длительность воздействия температуры, ч	Изменение цветовых тонов спектра композитов					
	с железоокисным желтым			с кобальтом фиолетовым темным		
	красный	зеленый	синий	красный	зеленый	синий
контрольный	0,8474	0,3937	0,1192	0,2020	0,1150	0,1164
1 ч	0,4348	0,1649	0,0827	0,2696	0,0854	0,0649
2 ч	0,4140	0,1601	0,0828	0,3017	0,0952	0,0697
3 ч	0,4183	0,1625	0,0800	0,3322	0,1010	0,0657
4 ч	0,4135	0,1592	0,0771	0,3402	0,1056	0,0655
5 ч	0,4139	0,1646	0,0814	0,3555	0,1089	0,0665
6 ч	0,4236	0,1696	0,0872	0,3689	0,1146	0,0713

Таблица 2

Изменение цветовых тонов спектра

Вид пигмента	Изменение цветовых тонов спектра в зависимости от длительности выдерживания в агрессивной среде, ч											
	красный				зеленый				синий			
	контрольный	3 ч	6 ч	9 ч	контрольный	3 ч	6 ч	9 ч	контрольный	3 ч	6 ч	9 ч
глауконитовый зеленый	0.1810	0,2571	0,3938	0.4367	0.2210	0,3090	0,5186	0,5571	0,1061	0.3010	0,4043	0,4281
лазурь железная	0.2624	0,2852	0.3015	0,3395	0,3029	0,3529	0,3945	0.4281	0,5467	0.4614	0,4551	0,4456
сурик железный	0.7714	0,7329	0,7143	0,6762	0,4243	0,5467	0,6790	0,7086	0,2219	0.2900	0,4657	0,5238
алюминиевая пудра	0.6660	0,6238	0.6190	0,6081	0.6795	0.6419	0.6130	0,6100	0,7170	0.6786	0.6690	0,6642
кобальт фиолетовый	0.3520	0,7562	0.5324	0.8052	0,1950	0.3662	0.4543	0.2836	0.1650	0.2719	0.2843	0.1320

снижается прочность, изменяются и другие свойства. Следует отметить, что химическое сопротивление пигментированных эпоксидных композитов в настоящее время изучено недостаточно полно. С учетом сложности механизма взаимодействия эпоксидных смол с пигментами экспериментальные исследования химической стойкости данных композитов в различных агрессивных средах чрезвычайно важны.

Вода является наиболее распространенным компонентом сред, воздействующих на защитные и декоративные покрытия. Обладая высокой проникающей способностью и полярностью, она способствует ослаблению и разрушению фрикционных, ван-дер-ваальсовых, водородных и гидролитических нестойких связей через катион металла. При ее воздействии на полимеры, особенно в присутствии поверхностно-активных веществ, облегчается смачивание поверхности полимера и усиливается действие среды; наблюдается изменение цветовых тонов спектра (табл. 2)

Таким образом, разработанная методика оценки декоративных свойств покрытий позволяет моделировать изменение цвета декоративных материалов различного состава и назначения и оценивать изменение данных свойств под воздействием эксплуатационных сред различной природы.

Поступила 04.05.09.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УФ-ОБЛУЧЕНИЯ

В. П. Селяев, Т. А. Низина, Ю. А. Ланкина

В статье приведены результаты исследования влияния ряда соединений из классов пространственно-затрудненных аминов и фенолов на стойкость эпоксидных композитов при действии УФ-облучения. Оценка изменения декоративных свойств защитных покрытий под действием УФ-облучения выполнялась с помощью программного комплекса «Статистический анализ цветовых составляющих лакокрасочных покрытий».

Одной из важнейших характеристик защитных покрытий строительных конструкций являются декоративные свойства, которые определяются внешним видом покрытий, цветом и блеском. Процессы деструкции, происходящие в полимерных материалах под действием УФ-облучения, оказывают негативное влияние не только на внешний вид, но и на их физико-механические свойства.

Для оценки цвета лакокрасочных покрытий все чаще вместо традиционных методов используются компьютерные технологии [1; 3—5; 8]. В основе предлагаемых подходов лежит возможность получения растрового изображения структуры материала при сканировании изучаемой поверхности, выражаемой в виде функции цвета. При цветном варианте сканирования с использованием определенной цветовой модели появляется возможность разложить каждый цвет на составляющие цвета и спектры определенной частоты, анализ которых дает возможность получить объективные данные о декоративных характеристиках лакокрасочного покрытия. Активное внедрение для оценки цвета лакокрасочных покрытий компьютерных технологий открывает широкие возможности и позволяет не только оценить соответствие цвета нанесенного покрытия эталону, но и проследить изменение декоративных характеристик под действием различных агрессивных факторов. Проведенный в работе [6] анализ используемых для описания цвета моделей (Lab, RGB, HSB, CMYK) показал, что наиболее приемлемой для лакокрасочных покрытий является субтрактивная цветовая модель CMYK.

Для оценки изменения декоративных характеристик эпоксидных покрытий при действии УФ-облучения был использован программный комплекс «Статистический анализ цветовых составляющих лакокрасочных покрытий» [7], анализ работы которого приведен в пособии [2]. Для оценки СМУК-составляющих (голубой, пурпурной, желтой и черной) и яркости использовалась цветовая палитра с 256 цветами. В результате обработки экспериментальных данных с помощью программного комплекса строились кривые распределения, характеризующие спектральную плотность, и поверхности распределения цветовых составляющих, показывающие, какой цвет имеет каждый пиксель исследуемой области образца.

Оценка изменения цветовых составляющих под действием УФ-облучения проводилась для эпоксидных композитов, содержащих антиоксиданты аминного и фенольного типов (табл. 1). Сканирование исследуемых образцов выполнялось с разрешением 300 dpi. Полученные растровые изображения сохранялись в графическом формате *.psd. Параллельно анализировалось по 15 поверхностей.

Для выявления влияния вида стабилизатора на цветовые составляющие и яркость поверхности эпоксидных композитов с использованием программного комплекса были построены кривые распределения цветовых составляющих (рис. 1—5). Из представленных графиков видно, что введение антиоксидантов в состав эпоксидных композитов оказывает значительное влияние на окраску материала. Так, например, средний уровень яркости при введении в состав эпоксидного

Таблица 1

Виды используемых антиоксидантов

№ состава	Вид антиоксиданта	№ состава	Вид антиоксиданта
0	—	5	Нафтам-2
1	Ацетонанил	6	Салициловая кислота
2	Гидрохинон	7	Оксид хрома
3	Фенолфталеин	8	Диафен
4	Агидол-2	9	Анилин

связующего антиоксидантов увеличивается для всех составов, кроме 3-го и 7-го. Характер распределения и средние значения голубой цветовой составляющей резко изменяются для составов, содержащих в качестве стабилизаторов фенолфталеин, ацетонанил, оксид хрома и анилин. Средний уровень и разброс значений пурпурной цветовой составляющей при введении стабилизирующих добавок увеличивается для всех составов. Наименьшее изменение желтой цветовой составляющей зафиксировано для состава, содержащего в качестве антиоксиданта нафтам-2.

В качестве числовых характеристик кривых распределения использовались: среднее арифметическое и дисперсия, величины которых приведены в табл. 2. Полученные статистические характеристики дают количественную оценку цвета полимерного покрытия и позволяют проследить изменение данных характеристик цветовых составляющих в зависимости от вида стабилизатора.

В практических исследованиях достаточно часто приходится сравнивать цвета нескольких покрытий. На наш взгляд, количественное описание насыщенности цвета целесообразно выполнять путем сравнения исследуемого состава с абсолютно белым, имеющим максимальную ($f(X) = 100\ \%$) плотность распределения при $X = 255$:

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

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

Цветовые различия по насыщенности при сравнении исследуемого покрытия с контрольным для голубой, пурпурной, желтой, черной составляющих и яркости определяются соответственно по формулам:

$$\Delta S_c = S_c^{контр.} - S_c, \quad \Delta S_u = S_u^{контр.} - S_u,$$
$$\Delta S_y = S_y^{контр.} - S_y, \quad \Delta S_\kappa = S_\kappa^{контр.} - S_\kappa, \qquad (2)$$
$$\Delta S_\beta = S_\beta^{контр.} - S_\beta.$$

Полное цветовое различие и полное цветовое различие по насыщенности составит:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta S_c^2 + \Delta S_u^2 + \Delta S_y^2 + \Delta S_\kappa^2 + \Delta S_\beta^2}; \qquad (3)$$

$$\Delta S = \sqrt{\Delta S_c^2 + \Delta S_u^2 + \Delta S_y^2 + \Delta S_\kappa^2} \qquad (4)$$

где S_C, S_M, S_Y, S_K, и S_B — цветовое различие по насыщенности соответственно для голубой, пурпурной, желтой, черной составляющих и яркости.

На рис. 6 показано изменение различия по насыщенности цветовых составляющих эпоксидных композитов с антиоксидантами по сравнению с контрольным составом. Проведенный анализ показал, что при введении стабилизаторов для всех композитов (кроме составов 3 и 7) возрастает насыщенность желтого цвета и уменьшается цветовая насыщенность пурпурной составляющей. Насыщенность голубого цвета увеличивается для составов 7 и 9, практически не изменяясь для остальных.

Наименьшее изменение полного цветового различия и цветового различия по насыщенности по сравнению с контрольным составом наблюдается для составов 5 и 8 (рис. 7) с антиоксидантами нафтам-2 и диафен. Максимальные значения исследуемых характеристик наблюдаются при введении в качестве антиоксидантов оксида хрома и анилина. При этом составы 1, 2, 4 и 6 характеризуются более высокими значениями полного цветового различия, что говорит о повышении яркости покрытий.

Таблица 2

Средние значения и дисперсии цветовых составляющих эпоксидных композитов с антиоксидантами*

Номер состава	Цветовые составляющие				Яркость
	Голубая	Пурпурная	Желтая	Черная	
0	163.25 26,21	17.65 62,47	15.05 121,55	109.73 91,32	27.89 9,96
1	171.54 4,02	29.67 82,89	0.078 1,15	156.004 108,92	42.56 25,92
2	170.05 23,16	40.99 149,8	0.43 13,58	147.34 128,2	43.43 34,87
3	148.58 28,83	37.88 153,53	33.64 210,85	92.81 164,59	25.85 29,19
4	169.3 18,66	46.92 99,99	0.046 0,45	146.07 71,7	45.087 23,16
5	162.85 25,73	28.25 120,93	9.43 112,44	115.06 133,62	29.51 22,94
6	164.02 15,89	28.25 120,93	0.17 8,55	162.64 53,47	60.42 34,1
7	91.08 101,96	91.09 122,33	61.62 185,5	59.91 117,38	19.54 20,05
8	159.92 41,4	33.73 120,49	19.23 217,26	103.62 212,9	33.11 14,28
9	172.83 10,13	36.88 171,07	0.25 7,66	149.45 82,99	43.59 37,95
10	164.37 33,49	44.83 176,33	1.25 17,41	122.76 289,67	36.71 58,71

* в числителе приведены средние значения, в знаменателе — дисперсия.

Использование защитно-декоративных покрытий в условиях действия УФ-излучения приводит к изменению цветовой окраски. При этом с увеличением сроков экспонирования меняется не только цвет покрытия, но и однородность окраски. Для выявления изменения цветовой окраски в ходе экспериментального исследования фиксировалось изменение цветовых составляющих и яркости эпоксидных композитов (см. табл. 1) через 1 000, 1 500 и 2 000 ч УФ-облучения. Плотность распределения декоративных характеристик для одного из исследуемых составов наглядно иллюстрирует различный характер изменения цветовых составляющих в процессе УФ-старения (рис. 8). Как показали проведенные исследования, характер изменения различных цветовых составляющих существенно меняется от вида применяемых антиоксидантов.

Наибольшее увеличение средних значений и дисперсии желтой цветовой составляющей наблюдается для составов, содержащих в качестве антиоксидантов ацетонанил и агидол-2. Также в процессе старения для ряда композитов (составы 0, 3, 5, 7, 8) происходит повышение среднего значения уровня яркости, при этом значение дисперсии, а следовательно, и разброс значений также увеличиваются. Для составов 1, 2, 4, 6, 9, 10 к 2 000-му часу УФ-облучения происходит снижение средних значений и дисперсии для яркости.

Анализ данных, приведенных в табл. 3, позволяет дать оценку степени деградации цветовых составляющих эпоксидных покры-

Таблица 3

Изменение спатистических характеристик цветовых составляющих*

Время, ч	Номер состава									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Голубая цветовая составляющая									
1 000	0.999 0,689	0.986 2,346	0.968 0,908	1.013 1,192	0.978 0,869	0.918 1,827	1.009 0,891	1.032 0,954	0.831 2,749	0.981 0,898
1 500	0.999 0,526	0.977 2,929	0.984 0,622	1.02 1,226	0.979 1,063	0.86 1,78	0.98 0,907	1.009 1,106	0.801 1,933	0.978 1,342
2 000	0.963 0,802	0.925 4,142	0.958 1,043	1.012 1,175	0.921 2,427	0.884 2,077	0.999 0,963	0.974 0,808	0.84 2,271	0.969 1,13
	Пурпурная цветовая составляющая									
1 000	1.384 1,748	0.856 1,135	1.03 1,395	1.227 1,083	0.860 1,606	2.033 1,365	0.546 1,555	0.953 1,497	1.937 1,136	0.904 1,183
1 500	1.574 2,063	0.853 1,239	1.058 1,593	1.48 1,104	0.992 1,421	2.028 1,383	0.641 1,683	0.977 1,365	2.191 1,198	1.046 1,095
2 000	1.91 2,341	1.483 1,893	125 1,12	1.563 1,103	1.146 1,375	2.277 1,35	0.657 1,468	1.014 1,401	2.077 1,548	1.15 0,958
	Желтая цветовая составляющая									
1 000	0.675 0,542	185.4 135,7	14.83 8,435	0.56 0,528	129.7 194,0	4.187 3,467	14.59 5,647	1.249 1,867	3.439 1,545	7.883 5,519
1 500	0.847 0,779	277.7 204,6	9.037 5,751	0.421 0,504	184.7 250,6	4.84 2,553	31.14 6,259	1.261 1,734	3.805 1,434	12.64 12,35
2 000	1.415 0,914	323.7 329,3	42.61 22,54	0.444 0,577	422.7 571,0	5.582 2,448	25.6 5,205	1.311 1,763	3.491 1,458	6.724 5,09
	Черная цветовая составляющая									
1 000	0.999 1,086	0.852 0,864	0.863 0,888	1.135 0,864	0.856 1,04	1.064 0,854	0.804 1,281	1.337 1,199	0.954 0,542	0.93 1,497
1 500	0.997 1,152	0.774 0,744	0.916 0,791	1.161 0,985	0.905 0,601	0.863 0,987	0.761 0,803	1.434 1,009	1.042 0,461	0.954 1,091
2 000	1.083 0,942	0.729 0,579	0.884 0,647	1.209 1,086	0.909 0,941	0.927 0,705	0.864 1,473	1.504 2,31	1.025 0,628	0.972 1,257
	Яркость									
1 000	1.064 1,425	0.805 0,526	0.86 0,959	1.202 1,1	0.777 1,024	1.342 1,177	0.622 0.451	1.346 1,813	1.036 1,942	0.83 0,835
1 500	1.082 1,556	0.741 0,412	0.886 1,285	1.323 1,428	0.834 0,765	1.142 1,495	0.606 0,495	1.473 1,166	1.139 1,824	0.944 1,116
2 000	1.044 1,361	0.876 1,044	0.921 0,902	1.405 1,632	0.937 1,128	1.243 1,498	0.683 0,526	1.533 2,479	1.154 2,441	0.946 0,843

* в числителе приведены относительные значения уровня цветовой составляющей, в знаменателе — дисперсии.

тий в процессе УФ-старения. Однако данный способ описания изменения декоративных свойств покрытий достаточно громоздок. Наиболее комплексными характеристиками изменения декоративных параметров покрытий в процессе старения, на наш взгляд, являются полное цветовое различие и цветовое различие по насыщенности, определяемые по формулам:

$$\Delta E' = \sqrt{(\Delta S'_C)^2 + (\Delta S'_M)^2 + (\Delta S'_Y)^2 + (\Delta S'_K)^2 + (\Delta S'_B)^2}\ ; \quad (5)$$

$$\Delta S' = \sqrt{(\Delta S'_C)^2 + (\Delta S'_M)^2 + (\Delta S'_Y)^2 + (\Delta S'_K)^2} \quad (6)$$

где $\Delta S'_C$, $\Delta S'_M$, $\Delta S'_Y$, $\Delta S'_K$ и $\Delta S'_B$ — изменение цветового различия по насыщенности во времени соответственно для голубой, пурпурной, желтой, черной составляющих и яркости:

$$\Delta S'_C = S'^{\tau=0}_C - S'_C,\ \ \Delta S'_M = S'^{\tau=0}_M - S'_M,$$

$$\Delta S'_Y = S'^{\tau=0}_Y - S'_Y,\ \Delta S'_K = S'^{\tau=0}_K - S'_K, \quad (7)$$

$$\Delta S'_B = S'^{\tau=0}_B - S'_B.$$

Анализ результатов обработки экспериментальных данных показал (рис. 9), что для большинства исследуемых композитов к 2 000-му часу УФ-старения наблюдается снижение полного цветового различия, что, как правило, обусловлено образованием на поверхности образцов белесой пленки. Именно она является наиболее ярко выраженным «декоративным дефектом» эпоксидных покрытий.

Наименьшее цветовое различие при воздействии УФ-излучения наблюдается для составов с антиоксидантами: ацетопанилом, гидрохиноном, фенолфталеином, агидолом-2. Стабильное повышение данной характеристики в процессе старения в течение всего исследуемого промежутка времени характерно для 6-го состава, что свидетельствует о повышении интенсивности окраски композита. Наихудшие результаты зафиксированы для составов 5, 8 и 9, содержащих промышленные антиоксиданты нафтам-2, диафен и анилин.

Проведенные исследования изменения цветовых характеристик эпоксидных композитов под действием УФ-излучения свидетельствуют об эффективности предложенных стабилизаторов. Из предложенных антиоксидантов наилучшие результаты по упруго-прочностным [9] и декоративным показателям получены при использовании салициловой кислоты и фенолфталеина (составы 6 и 4).

В результате проведенных исследований доказано, что использование программного комплекса «Статистический анализ цветовых составляющих лакокрасочных покрытий» для оценки изменения цветовых составляющих позволяет получить объективную информацию по изменению декоративных характеристик покрытий, что особенно важно при исследовании защитно-декоративных покрытий под действием УФ-облучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методика оценки изменения декоративных свойств лакокрасочных материалов под действием эксплуатационных факторов / В. Т. Ерофеев, Н. В. Черепова, В. В. Афонин, Е. А. Митина // Вести. отд-ния строит. наук [Москва]. — 2004. — Вып. 8. — С. 180—185.

2. **Низина Т. А.** Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих / Т. А. Низина. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2007. — 258 с.

3. Оценка декоративных свойств лакокрасочных покрытий / В. И. Логанина, В. А. Смирнов, С. Н. Кислицына [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. — 2004. — № 8. — С. 10—12.

4. **Селяев В. П.** Применение метода прямого сканирования для оценки качества лакокрасочного покрытия / В. П. Селяев, Т. А. Низина, Н. О. Зубанкова // Предотвращение аварий зданий и сооружений : межвуз. сб. научн. раб. — Магнитогорск, 2003. — С. 187—193.

5. **Селяев В. П.** Использование метода прямого сканирования для оценки изменения цветовых характеристик лакокрасочного покрытия под действием климатических факторов / В. П. Селяев, Т. А. Низина, Н. О. Зубанкова // Вести. отд-ния строит. наук [Москва]. — 2004. — Вып. 8. — С. 355—361.

6. **Селяев В. П.** Оценка цветовых составляющих лакокрасочных покрытий на основе статистической обработки результатов исследования / В. П. Селяев, Т. А. Низина, Н. О. Зубанкова // Труды XIII Международного семинара Азиатско-Тихоокеанской академии материалов «Строительные и отделочные материалы. Стандарты XXI века». — Новосибирск, 2006. — С. 146—152.

7. Статистический анализ цветовых составляющих лакокрасочных покрытий / В. П. Селяев, Т. А. Низина, Н. О. Зубанкова, Ю. А. Лаккиза // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006610820 от 28.02.2006 г. в Роспатенте по заявке № 2005613472 от 29.12.2005 г.

Рисунки к статье В. П. Селиева, Т. А. Низиной и Ю. А. Ланкиной «Оценка изменения декоративных свойств защитных покрытий под действием УФ-облучения»

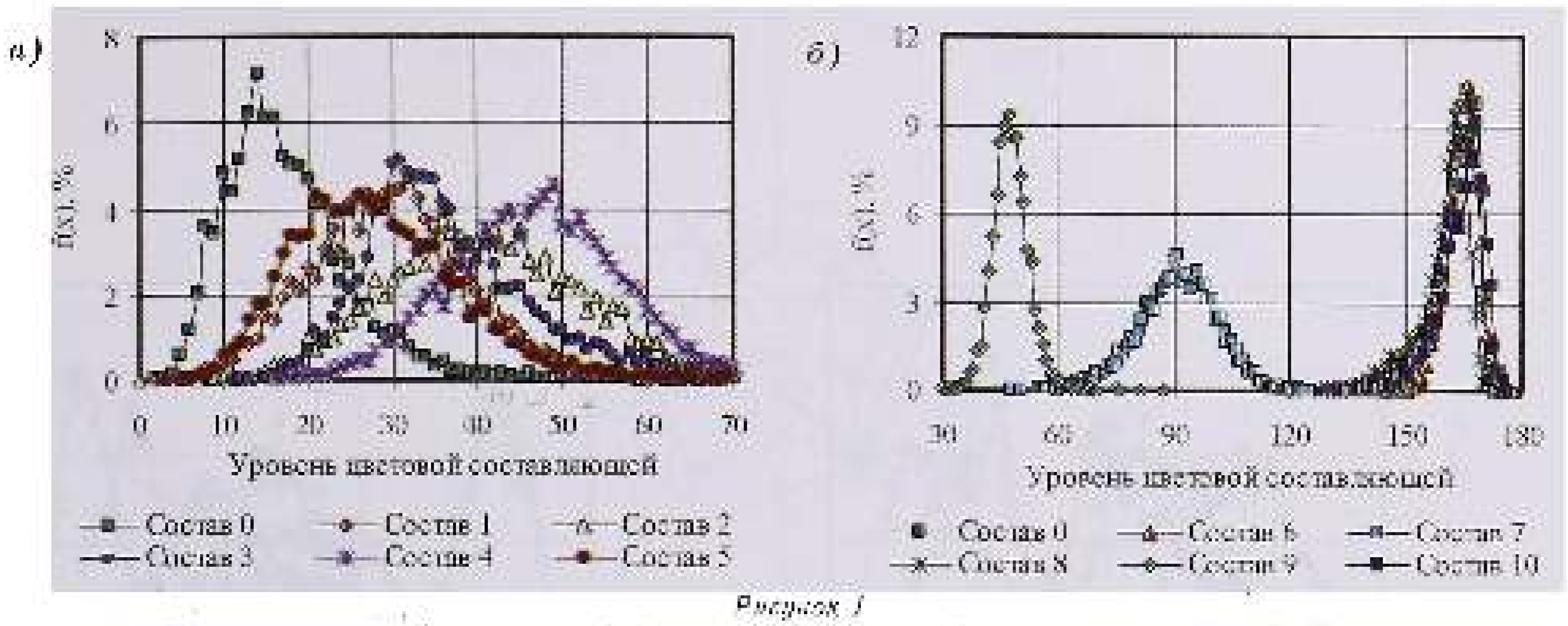


Рисунок 1

Плотность распределения голубой составляющей эпоксидных композитов до УФ-облучения

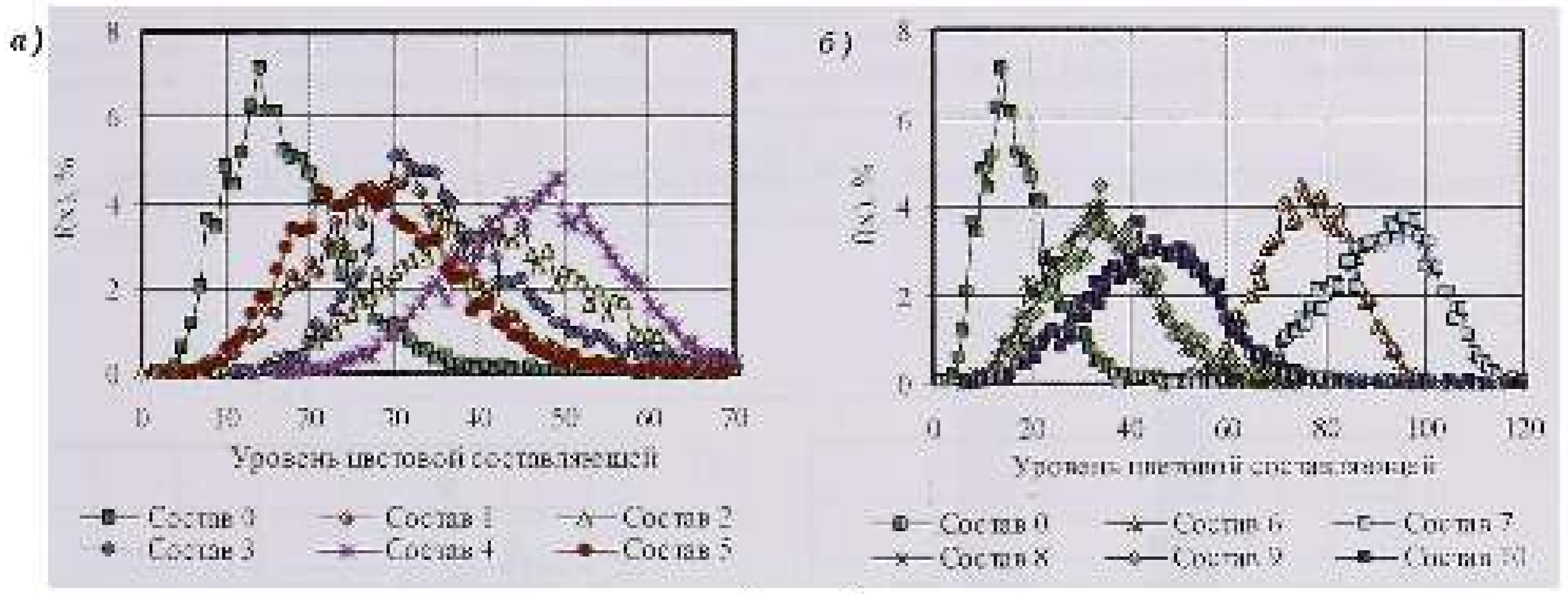


Рисунок 2

Плотность распределения пурпурной составляющей эпоксидных композитов до УФ-облучения

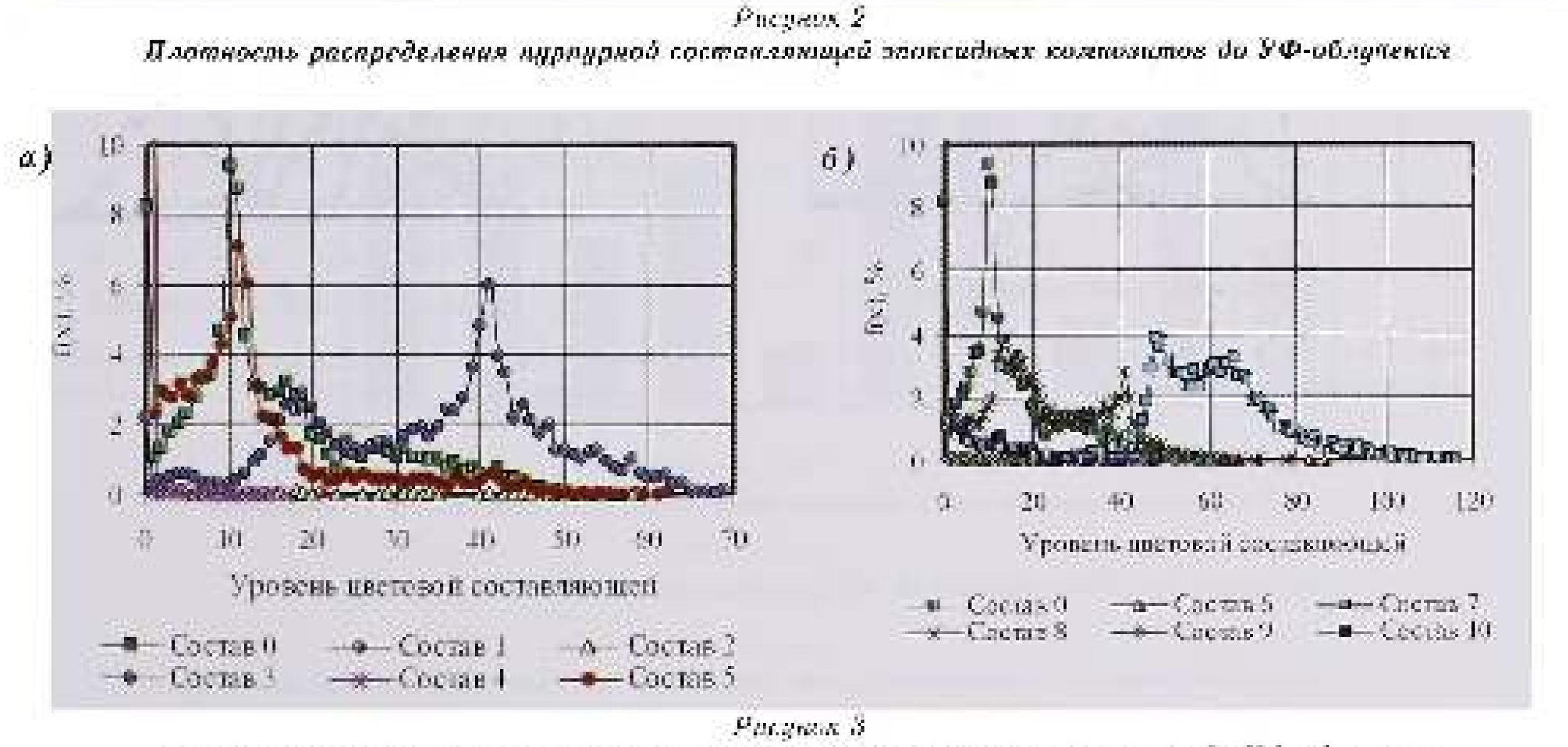
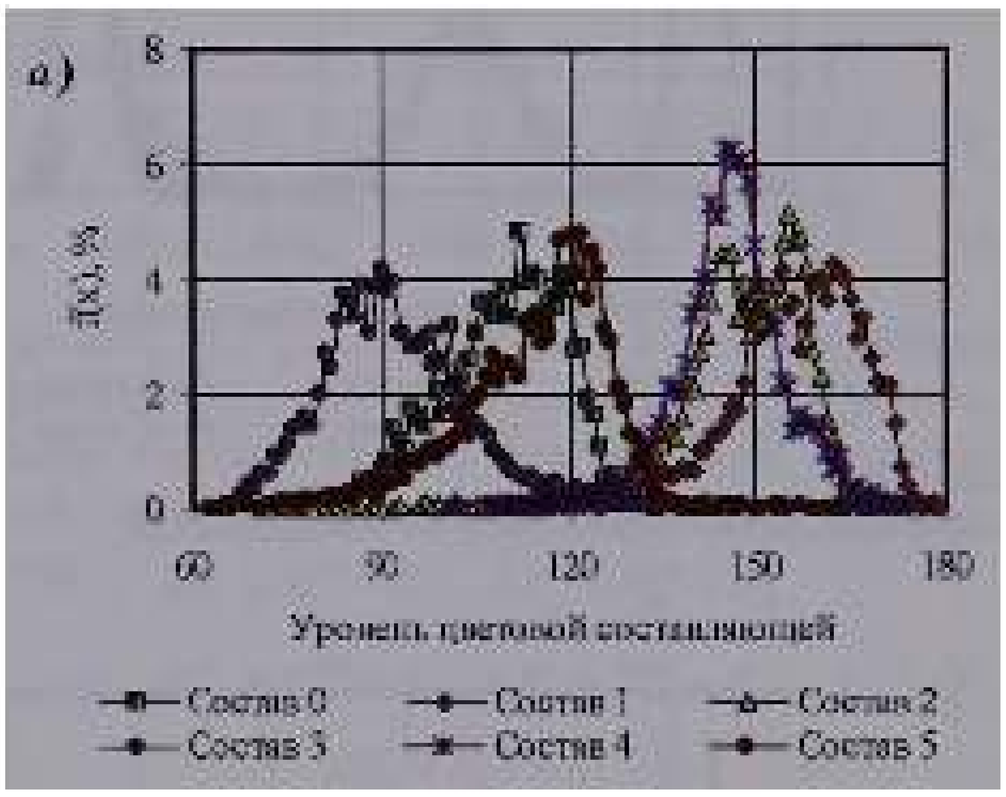


Рисунок 3

Плотность распределения желтой составляющей эпоксидных композитов до УФ-облучения



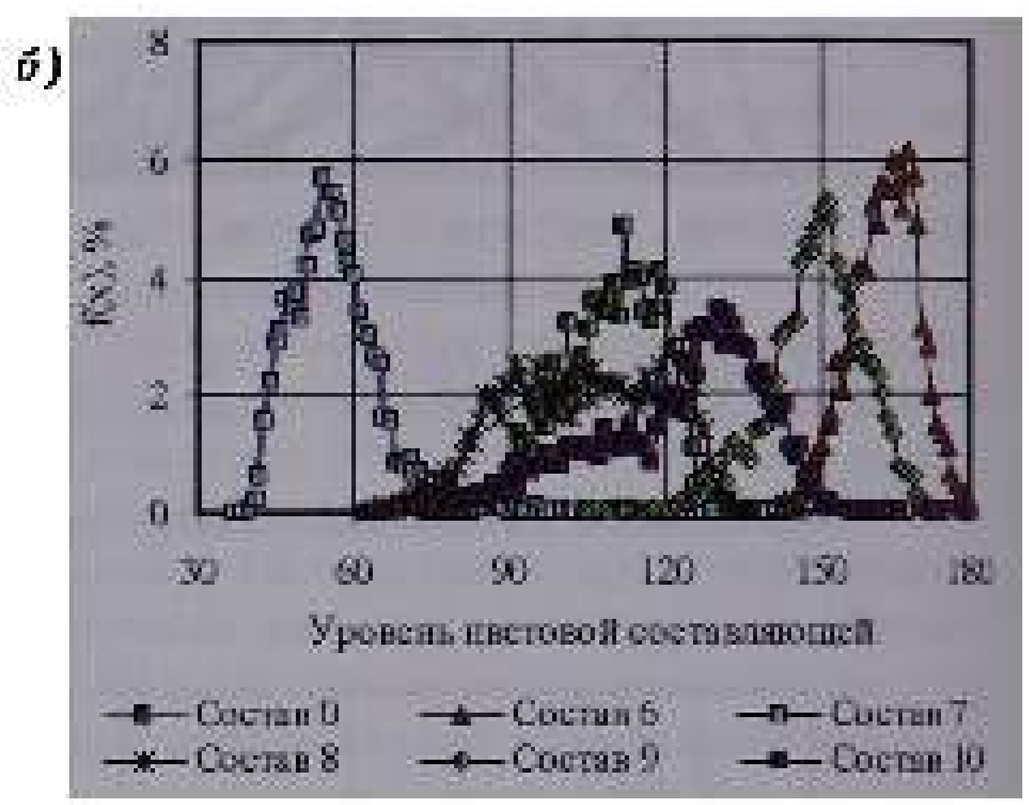
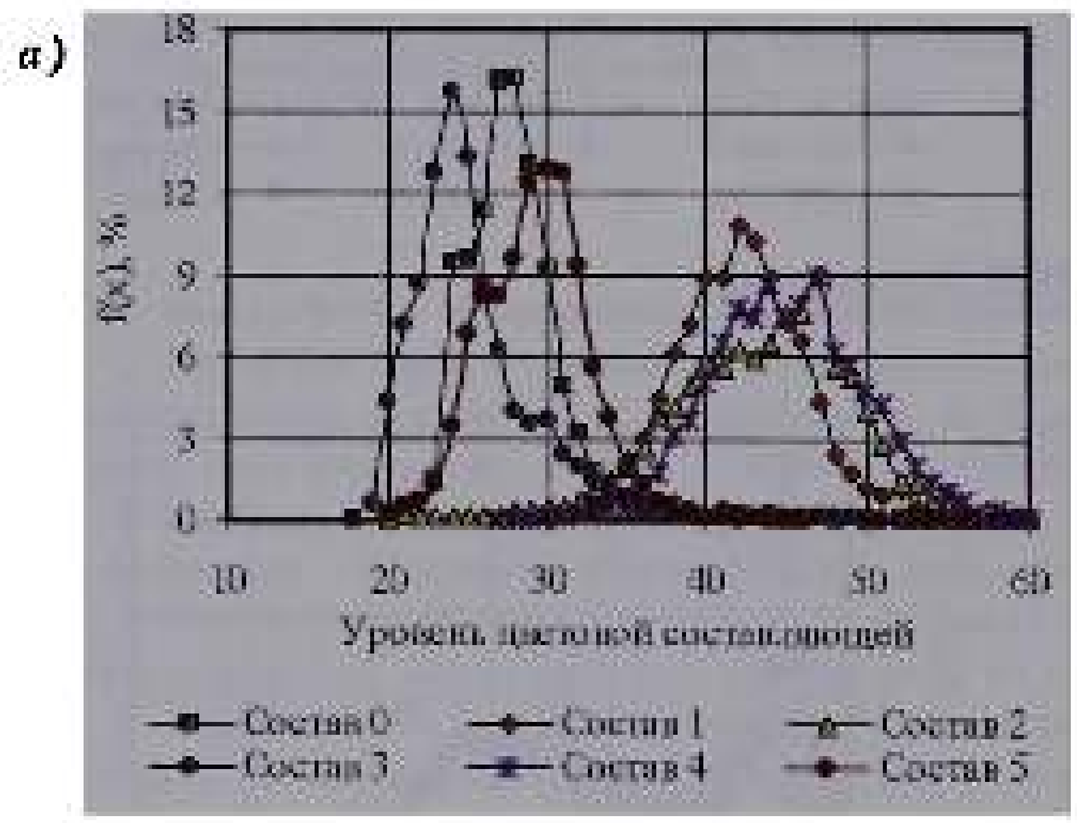


Рисунок 4

Плотность распределения голубой составляющей эпоксидных композитов до УФ-облучения



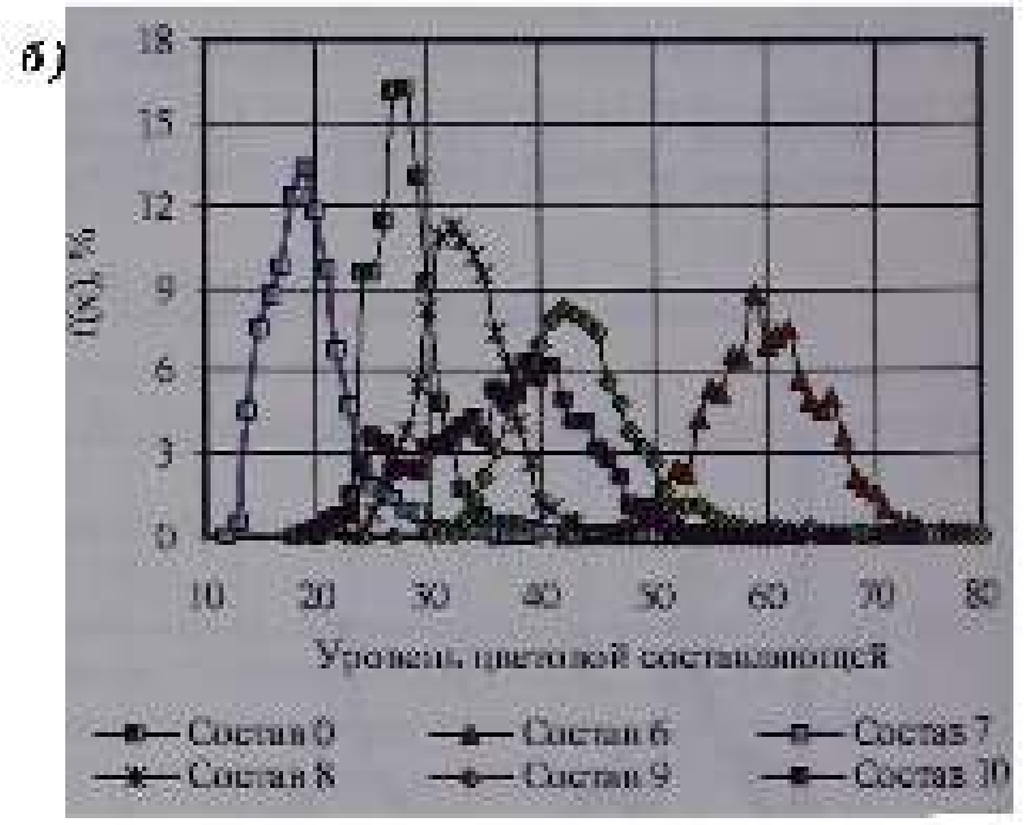


Рисунок 5

Плотность распределения яркости эпоксидных композитов до УФ-облучения

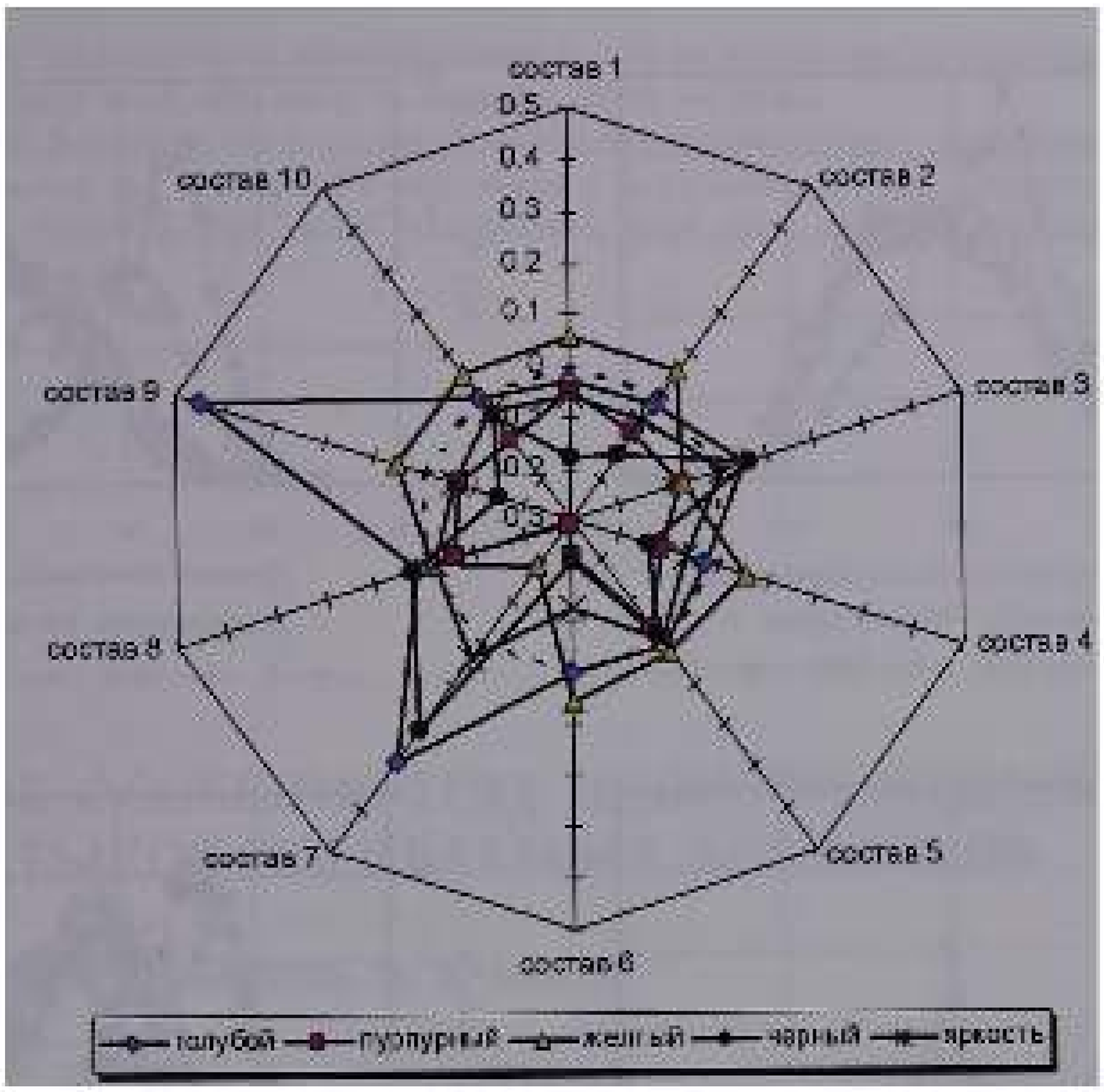


Рисунок 6

Изменение различия по насыщенности цветовых составляющих эпоксидных композитов с антиоксидантами по сравнению с контрольным составом

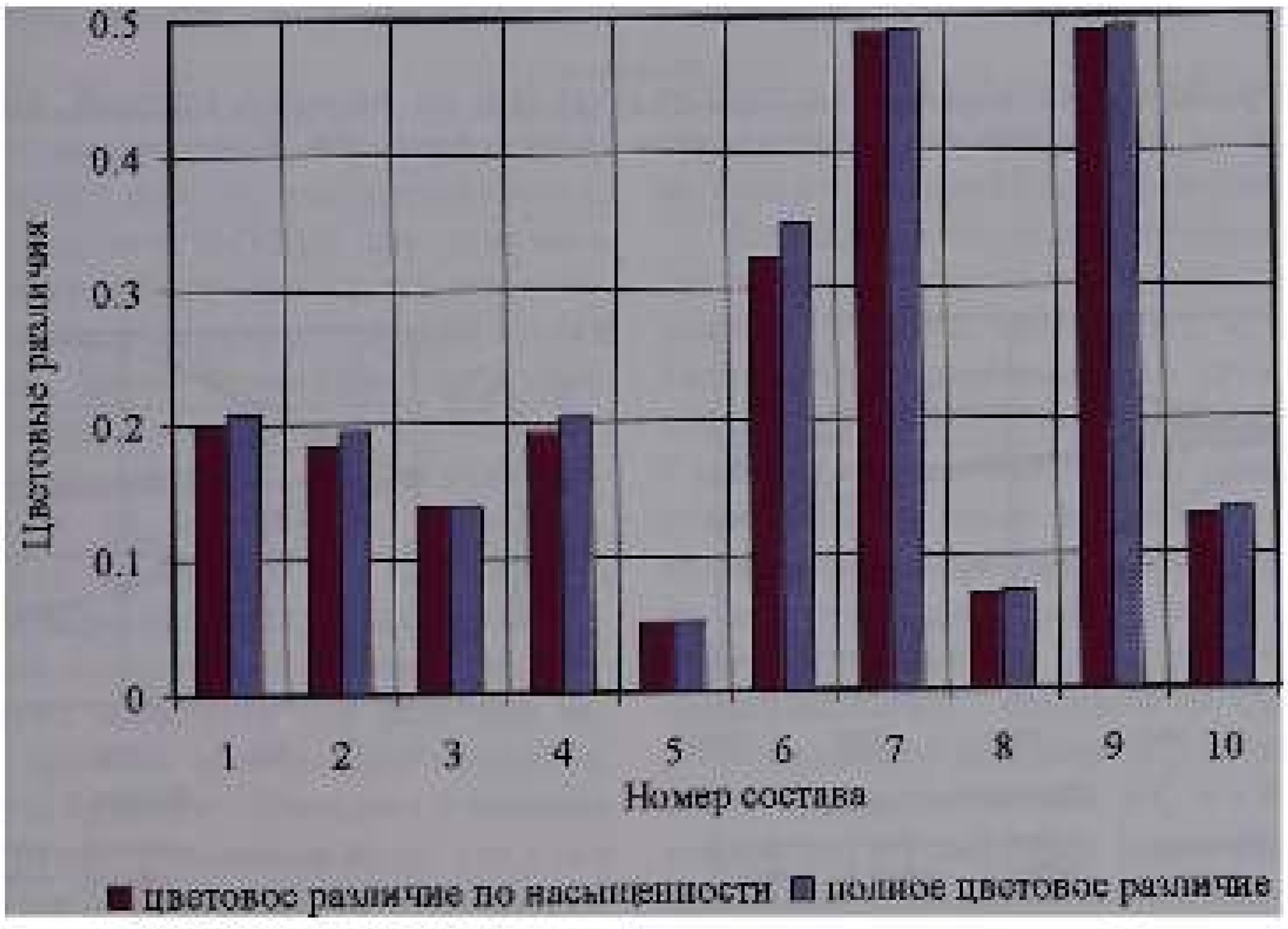


Рисунок 7

Изменение цветовых различий эпоксидных композитов с антиоксидантами по сравнению с контрольным составом

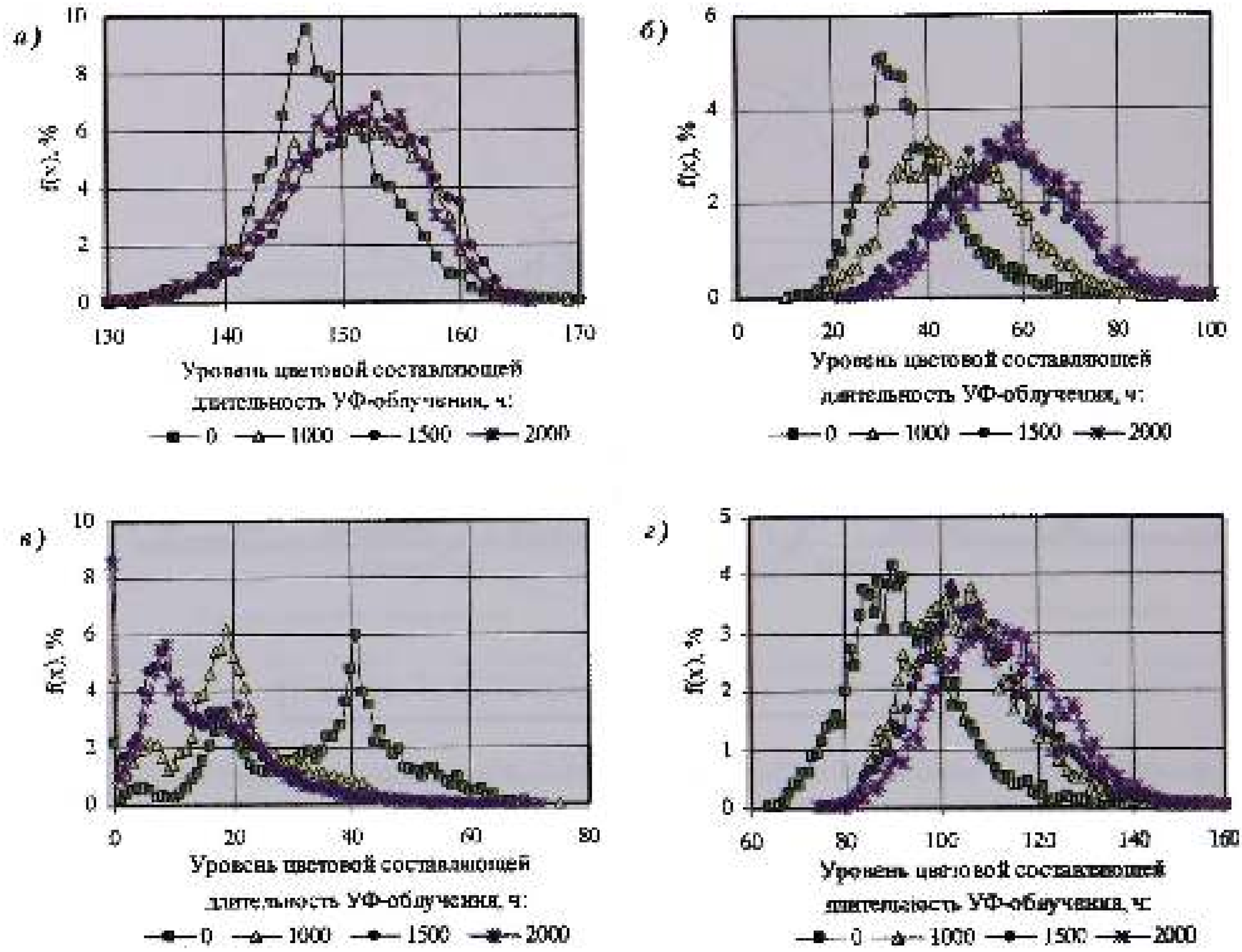


Рисунок 8

Плотность распределения голубой (а), пурпурной (б), желтой (в) и черной (г) цветовых составляющих эпоксидных композиций (состав 3) при действии УФ-облучения

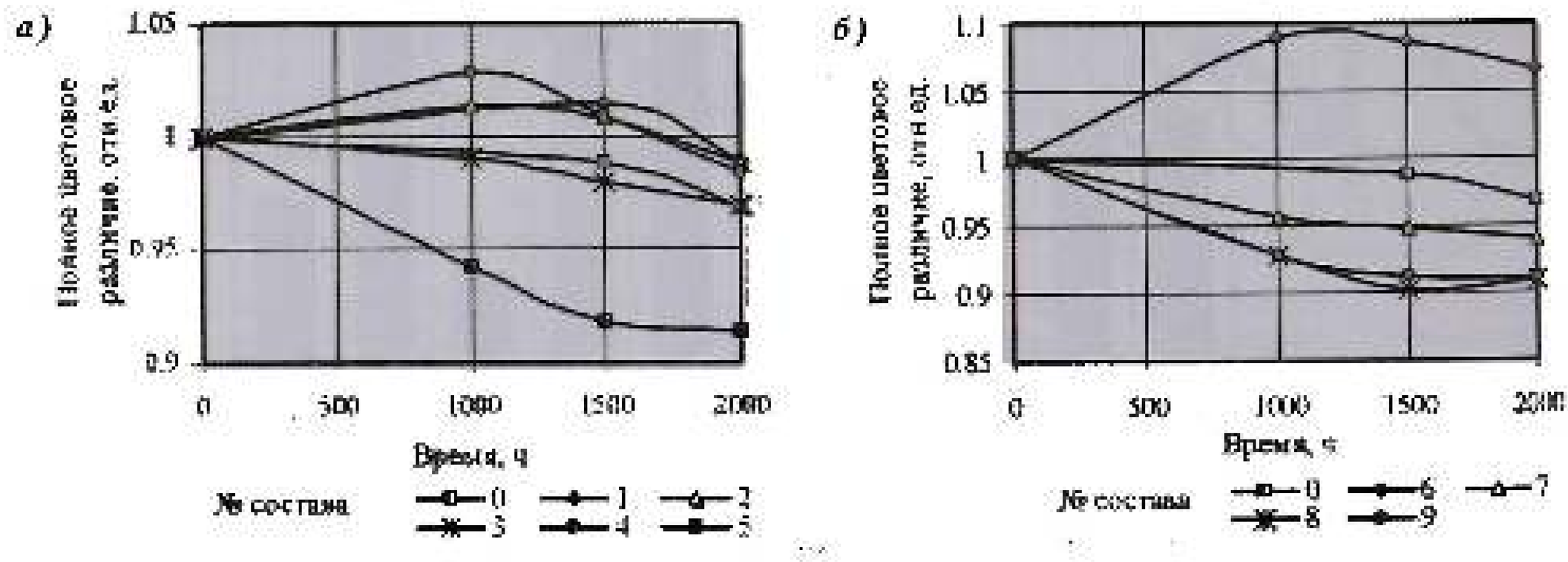


Рисунок 9

Изменение полного цветового различия эпоксидных композиций при действии УФ-облучения

8. **Фролкин О. А.** Компьютерное моделирование и анализ структуры композиционных материалов : дис. ... канд. техн. наук / О. А. Фролкин. — Саранск, 2000. — 223 с.

9. **Шишкин В. Н.** Исследование влияния стабилизаторов химического происхождения на долговечность защитных покрытий при действии УФ-облучения / В. Н. Шишкин, Т. А. Низина, Ю. А. Ланхина // Актуальные вопросы строительства : м-лы Международ. науч.-техн. конф. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2006. — С. 478—481.

Поступила 16.09.06.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ РАБОТЫ СТЫКОВ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В. И. Федосейкин, П. В. Селяев

В статье ставится проблема влияния фактора времени на работу строительных конструкций. В элементах конструкций при действии неизменной нагрузки продолжается нарастание деформаций. Авторы рассматривают ползучесть стыковых соединений изгибаемых элементов при действии неизменных во времени изгибающих моментов.

О влиянии фактора времени на работу строительных конструкций известно давно. Накопилось много фактов, подтверждающих, что в элементах конструкций при действии неизменной нагрузки продолжается нарастание деформаций. Например, увеличивается прогиб балок. Здесь проявляют себя различные процессы, протекающие во времени. Среди них первостепенную роль играет ползучесть. Говоря об изгибаемых элементах, необходимо учитывать, что все сказанное в значительной мере относится к их стыкам.

Рассмотрим ползучесть стыковых соединений изгибаемых элементов при действии неизменных во времени изгибающих моментов. Начало отсчета времени t совпадает с началом действия нагрузки. Имеется в виду, что стык перекрыт двумя одинаковыми накладками, на каждую из которых приходится изгибающий момент M. Предполагается, что деформациями накладок и соединяемых частей конструктивного элемента по сравнению с деформациями связей стыка можно пренебречь. Расчет ведется для двух типов связей: дискретно-сосредоточенных и равномерно распределенных по взаимно прилегающим поверхностям.

Дискретно-сосредоточенные (точечные) связи. К ним относятся соединения на болтах, заклепках, гелях, гвоздях и т. п. Геометрический центр их расположения служит центром взаимного поворота накладки и скрепленной с нею части элемента. Длину радиус-вектора, соединяющего центр поворота с i-й связью, обозначаем r_i. Сдвиги связей и, соответственно, воспринимаемые ими усилия перпендикулярны к названным радиус-векторам. Если первоначальный (соответствующий $t = 0$) угол взаимного поворота W_0, то сдвиг Ui_0 i-й связи определяется как $Ui_0 = r_i W_0$, а придаваемое ею усилие будет равно $Ni_0 = cr_i W_0$. В последнем выражении величина c характеризует жесткость связи, которую считаем для всех связей одинаковой.

Условие равновесия накладки имеет вид равенства $M = \sum Ni_0 r_i$, или, с учетом записанного выражения Ni_0:

$$M = W_0 c \sum r_i^2. \quad (1)$$

Суммирование производится по всем связям, передающим нагрузку. Сумма $\sum r_i^2$ представляет собой полярный момент инерции единичных площадей, расположенных там, где находятся связи. Обозначив его J_ρ, т. е. пользуясь формулой

$$J_\rho = \sum r_i^2, \quad (2)$$

равенство (1) переписываем в виде:

$$M = W_0 c J_\rho.$$

Отсюда

$$W_0 = \frac{M}{cJ_\rho}. \quad (3)$$

Подставив это выражение начального угла поворота в ранее написанные формулы начальных сдвигов и усилий, будем иметь:

$$Ui_0 = \frac{M}{cJ_\rho} r_i; \quad (4)$$

$$N_{i0} = \frac{M}{J_\rho} r_i. \quad (5)$$

Исходя из предпосылок линейной теории ползучести для сдвигов i-й связи в момент времени t записываем формулу:

$$Ui_0(t) = Ui_0 + \frac{1}{c}\int_0^t k(\tau) N_i(\tau) d\tau. \quad (6)$$

Здесь $K(\tau)$ — ядро ползучести; $N_i(\tau)$ — усилие, приходящееся на i-ю связь в момент времени τ.

Если в момент времени t угол поворота равен $W(t)$, то $U_i(t) = r_i W(t)$. Ранее было записано равенство $U_{i0} = r_i W_0$. С учетом этих выражений формула (6) принимает вид:

$$r_i W(t) = r_i W_0 + \frac{1}{c}\int_0^t k(\tau) N_i(\tau) d\tau. \quad (7)$$

Умножив обе части этого равенства на r_i и произведя суммирование по всем связям, получим:

$$W(t)\sum_i r_i^2 = W_0 \sum r_i^2 + \frac{1}{c}\int_0^t k(\tau)\left[\sum N_i(\tau) r_i\right] d\tau.$$

Но $\sum r_i^2 = J_\rho$, $\sum N(t) r_i = M$, поэтому

$$W(t) = W_0 + \frac{M}{cJ_\rho}\int_0^t k(\tau) d\tau$$

или, имея в виду (3):

$$W(t) = W_0\left[1 + \int_0^t k(\tau) d\tau\right]. \quad (8)$$

Таково уравнение ползучести стыкового соединения с дискретными связями.

Дифференцируя (7) по t, будем иметь:

$$r_i \frac{dW(t)}{dt} = \frac{1}{c} k(t) N_i(t).$$

Согласно (8) $\frac{dW(t)}{dt} = W_0 k(t)$.

Подставив это выражение в предыдущее равенство, получаем:

$$r_i W_0 k(t) = \frac{1}{c} k(t) N_i(t),$$

откуда:

$$c r_i W_0 = N_i(t).$$

Поскольку $c r_i W_0 = N_{i0}$, получаем равенство:

$$N_i(t) = N_{i0}. \quad (9)$$

Таким образом, усилия, действующие на связи, во времени неизменны.

Однородные равномерно распределенные связи. Типичным примером являются клеевые соединения. Решая задачу для этого вида соединений, там, где это уместно, будем пользоваться теми же обозначениями, что и ранее.

В точке, находящейся на расстоянии r от центра поворота, выделяем элементарную площадку dA. Перемещение центра этой площадки перпендикулярно к радиус-вектору, соединяющему с центром поворота, и в начальный момент времени (момент приложения нагрузки) равно $U_0 = rW_0$. Элементарное сдвигающее усилие, приходящееся на площадку, равно $dN_0 = S_0 dA$ и также перпендикулярно к названному радиус-вектору. Через S_0 обозначена интенсивность сдвигающей нагрузки в центре элементарной площадки. Предполагается линейная зависимость между этими нагрузками и сдвигами, что выражается равенством $S_0 = cU_0$, в котором величина c характеризует жесткость связей.

Уравнение равновесия

$$M = \int_A r dN_0$$

с учетом записанных данных соотношений принимает вид:

$$M = c w_0 \int_A r^2 dA.$$

Входящий сюда интеграл, который берется по всей площади расположения связей,

представляет собой полярный момент инерции J_p этой площади относительно центра вращения. Тем самым $M = cW_0J_p$, откуда:

$$W_0 = \frac{M}{cJ_p}. \qquad (10)$$

Для прямоугольной площади со сторонами b и h полярный момент инерции равен:

$$J_p = \frac{bh}{12}(h^2 + b^2).$$

Первоначальную интенсивность распределенной нагрузки находим согласно ранее записанному равенству $S_0 = CU_0$, в которое подставляем $U_0 = rW_0$. Получаем $S_0 = CW_0r$. В свою очередь, используя формулу (10) для первоначального угла поворота, будем иметь:

$$S_0 = \frac{M}{J_p}r. \qquad (11)$$

Далее действуем по аналогии с расчетом для дискретных связей (что, по сути, сводится к замене дискретного суммирования интегрированием).

Прибегая к линейной теории ползучести, записываем формулу:

$$Ui_0(t) = U_0 + \frac{1}{c}\int_0^t k(\tau)S(\tau)d\tau. \qquad (12)$$

Здесь τ — текущее время, причем $0 < \tau < t$.

Перемещения (сдвиги) пропорциональны расстояниям от центра в любой момент времени, поэтому $U(t) = rW(t)$, $U_0 = rW_0$. В первом из этих равенств $W(t)$ означает угол поворота в момент времени t. Подстановка выражений $U(t)$ и U_0 в (12) дает:

$$rw(t) - rw_0 + \frac{1}{c}\int_0^t k(\tau)S(\tau)d\tau. \qquad (13)$$

Поступила 16.09.08.

Умножаем обе части этого равенства на r и получаем:

$$r^2w(t) = r^2 w_0 + \frac{1}{c}\int_0^t k(\tau)rS(\tau)d\tau.$$

Интегрирование по всей площади дает:

$$J_pw(t) = J_pw_0 + \frac{1}{c}\int_0^t k(\tau)\left[\int_A rS(\tau)dA\right]d\tau.$$

Но $\int_A rS(\tau)dA = M$, поэтому, принимая во внимание (10), приходим к формуле:

$$W(t) = W_0\left[1 + \int_0^t k(\tau)d\tau\right]. \qquad (14)$$

Получаем уравнение ползучести при распределенных связях, идентичное уравнению (8), которое описывает ползучесть при дискретных связях. Продифференцировав (13) по t, будем иметь:

$$r\frac{dw(t)}{dt} = \frac{1}{c}k(t)S(t).$$

Поскольку согласно (14) $\frac{dw(t)}{dt} = w_0k(t)$, получаем равенство $cr\omega_0 = s(t)$.

Учитывая, что $cr\omega_0 = s_0$, приходим к равенству:

$$S(t) = S_0. \qquad (15)$$

Это означает, что интенсивность сдвигающих усилий во всех точках соединения инвариантна относительно времени.

В целом можно констатировать, что для обеих разновидностей связей (дискретных и равномерно распределенных) справедливо одно и то же уравнение ползучести, выражаемое формулами (8) и (14), а распределение передаваемых усилий не зависит от времени.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНОВ

В. П. Селяев, О. Ю. Коровина

Показана возможность теоретического обоснования и развития кинетической концепции прочности композиционных материалов. Благодаря применению статистики Бозе — Эйнштейна получена формула, которая, в отличие от эмпирической формулы С. Н. Журкова, учитывает действие агрессивной среды на долговечность материала.

Нормативная методика прогнозирования долговечности химически стойких бетонов (полимербетонов и полимерсиликатных бетонов) при воздействии на них агрессивных сред в ГОСТе 24881-83 «Бетоны химически стойкие. Методы испытаний» основана на испытании контрольных образцов размерами 40 × 40 × 160 мм. Испытываются семь серий образцов, изготовленных из одной пробы бетона. В серии должно быть не менее трех образцов. После выдерживания в агрессивной среде образцы каждой серии испытывают на растяжение при изгибе через 0, 30, 60, 90, 180, 270 и 360 сут. При этом предварительно измеряют, взвешивают, затем определяют предел прочности на растяжение при изгибе. По результатам испытаний находят коэффициент химической стойкости, который принимается равным

$$k_{\text{х. с.}} = R_{\tau} / R_{0},$$

где R_0, R_τ — соответственно предел прочности серии образцов на растяжение при изгибе до погружения в среду и после выдержки в среде в течение времени τ, сут.

Для прогнозирования долговечности предлагается использовать неравенство вида:

$$k_{\text{х. с}} = \alpha\tau^{\beta} \leq c,$$

где c — допустимое снижение стойкости.

Подобная методика прогнозирования долговечности материалов приводится в ряде работ [6—8; 11]. Недостатки предложений очевидны. Прежде всего эта методика ориентирована на применение конкретного вида среды и материала. Следовательно, для каждого вида среды и материала нужно иметь данные по изменению $k_{\text{х. с.}}$ во времени. Кроме того, предлагаемая методика не учитывает функциональное назначение, реальные размеры, форму поперечного сечения конструкционного элемента, изделия, вид и уровень напряжений в материале; неравномерность распределения свойств материала и среды по объему изделия; определяющий вид предельного состояния.

Анализ литературных данных свидетельствует о том, что в нашей стране и за рубежом активно развиваются исследования в области долговечности бетона и железобетона [2; 3; 5—9; 11—13]. Предложены различные подходы для оценки и прогнозирования долговечности бетонов. Первая группа методов оценки долговечности основана на использовании модели «черного ящика». Известны параметры процесса на входе и выходе. К этой группе можно отнести методы статистического планирования эксперимента; феноменологические; экспертных оценок [3; 12; 13]. Во второй группе можно объединить методы, основанные на анализе процессов накопления и вымывания продуктов взаимодействия среды и цементного камня. [3; 9]. Третья группа включает подходы, основанные на определение глубинного показателя или ширины зоны химической реакции [2; 5; 13]. Четвертая группа объединяет подходы, основанные на кинетической концепции прочности материалов [12; 14].

Множество подходов к оценке долговечности бетонов вполне закономерно, так как постановка задачи определения долговечности материала некорректна. Долговечность — это свойство объекта, изделия, конструкций. В то же время для обеспечения нормативной долговечности объекта необходимо правильно выбрать материал, который будет отвечать и функциональным требованиям, и требованиям долговечности. Большое внимание уделяется разработке

методов оценки сопротивления материалов действию агрессивных сред на основе кинетического подхода.

Согласно кинетическому методу разрушение рассматривается как постепенный процесс накопления повреждений, развивающийся во времени под действием механической, тепловой, химической и др. видов энергии. Метод развит в работах С. Н. Журкова, Г. М. Бартенева, В. Р. Регеля и др. [1; 4; 10]. В работах [10; 12] показано, что кинетический метод можно применять для оценки долговечности бетонов различного вида.

В кинетическом подходе разрушение рассматривается как постепенный термоактивационный процесс накопления повреждения во времени под действием механических напряжений, тепла, химически и физически активных сред. Вследствие тепловых флуктуаций частицы, обладающие избыточной кинетической энергией, преодолевают активационный барьер ΔU (те, у которых $kT < \Delta U$). Начальный активационный барьер U_0 может снижаться под действием механических напряжений, агрессивных сред. С. Н. Журков первым экспериментально получил экспоненциальную зависимость между разрывным напряжением σ, долговечностью полимера под нагрузкой τ и абсолютной температурой T. Эта зависимость имеет вид:

$$\tau = \tau_0 \exp[(U_0 - \gamma\sigma) / kT], \qquad (1)$$

где k — постоянная Больцмана; U_0 — начальный активационный барьер; $\gamma\sigma$ — часть работы, которую выполняют внешние напряжения при разрыве тела. Принимая, что вероятность $P(n)$ нахождения частицы в данном энергетическом состоянии можно определить статистикой Больцмана, Бики получил зависимость (1) теоретически.

Предположим, что неравномерность распределения энергии по частицам (связям) распределяется в соответствии со статистикой Бозе — Эйнштейна [12], которая имеет вид:

$$P(n) = \exp[-(U_0 - \nu_x n) / kT], \qquad (2)$$

где $\nu_x n$ — химический потенциал, определяющий величину изменения внутренней энергии системы; n — количество частиц.

Считается, что разрыв связей в материале происходит вследствие флуктуаций атомов. Если в некоторой связи у двух смежных частиц (атомов), флуктуирующих с частотой ω, накоплена энергия, необходимая для ее разрыва, то вероятность этого события будет равна P. Тогда вероятность P_1 того, что за время t обрыв связи не произойдет, определяется выражением

$$P_1 = (1 - P)^{\omega t}.$$

Вероятность P_2 разрыва связи за промежуток времени dt будет равна:

$$P_2 = P\,\omega dt.$$

Если обозначить через N_0 число исходных нагруженных связей, то число связей, сохранившихся к моменту времени t, будет равно:

$$N(t) = N_0 (1 - P)^{\omega t}. \qquad (3)$$

Число связей, разорванных в течение интервала времени t, $t + \Delta t$, определяется из уравнения

$$-dN = N_0 (1 - P)^{\omega t} P\,\omega dt. \qquad (4)$$

Интегрируя уравнение (4) и пренебрегая величинами второго порядка малости, получаем:

$$N(t) / N_0 = \exp(-P\omega t). \qquad (5)$$

Обозначим через f и f_0 усилия в связях в момент времени $t = 0$ и t, тогда при действии постоянной нагрузки получим:

$$f = f_0 \exp(P\omega t). \qquad (6)$$

В формуле (6) $P\omega t$ — вероятность разрыва связей за время t. Очевидно, что в предельном случае $P\omega t = 1$, тогда долговечность будет равна $t = (P\omega)^{-1}$. Согласно начальным условиям ω^{-1} есть период колебаний частиц ($t_0 = \omega^{-1}$). Следовательно, можно записать:

$$t = t_0 P^{-1} \qquad (7)$$

Подставив значение P в полученную формулу, имеем:

$$t = t_0 \exp[(U_0 - \nu_x n) / kT]. \qquad (8)$$

Следуя Бики, предположим, что в результате действия усилия f_0 энергия связи U_0 понижается на величину $f_0\delta$, где 2δ — абсолютное удлинение связи перед разрушением. Все связи при осевом нагружении находятся под действием напряжения σ. Следовательно, можно записать $f_0 = \sigma F / N_0$, где F — площадь поперечного сечения образца.

С учетом формулы (6) и предельного условия $P\omega t = 1$ получаем:

$$f = f_0 e = eF\sigma / N_0 \qquad (9)$$

Тогда долговечность материала t при совместном действии напряжений σ и агрессивной среды будет равна:

$$t = t_0 \exp[(U_0 - e\delta F\sigma / N_0 - \nu_x n) / kT]. \qquad (10)$$

Из функции (10) легко получается формула С. Н. Журкова, если принять $m = 0$, $\gamma = \varepsilon\beta F / N_0$. Величина γ имеет размерность объема при условии равномерного распределения нагрузки на связи. В тех местах, где происходит разрыв, действующее усилие в связи значительно выше среднего. В связи с этим показано [15], что γ следует рассматривать как коэффициент перенапряжения.

При стандартных испытаниях химически стойких бетонов (ГОСТ 25581-83) образцы выдерживаются в агрессивной среде при условии $T = \text{const}$, $\sigma = 0$. С учетом условий испытаний выражение (10) принимает вид:

$$t = t_0 \exp[(U_0 - \gamma_x n / B] = t_0 \exp[\Delta U / B], \quad (11)$$

где $B = kT = \text{const}$ при $T = \text{const}$.

Из функции (11) следует, что долговечность образцов, экспонированных в агрессивной среде, зависит от химического потенциала агрессивной среды или от энергии химического взаимодействия m. При этом испытание образцов на сжатие до экспонирования и после определяет изменение работы разрушения под действием агрессивной среды. Принято [6—8; 11] по разрушающей нагрузке определять коэффициент химической стойкости и предел прочности. Правильнее было бы определять работу разрушения $A(t)$, совершенную силой разрушения P на перемещение Δl. Тогда разность работ $[A_0 - A(t)]$ будет равна $\gamma_x n$ — работе, производимой за счет изменения химического потенциала, обусловленного исчезновением определенного количества молей одних веществ и образованием других.

Выражение (11) дает возможность по результатам испытаний образцов, выдержанных в агрессивной среде, определить значение U_0 и m. Для этого, прологарифмировав выражение (11), получим:

$$\ln t = \ln t_0 + (U_0 - \gamma_x n) / B. \quad (12)$$

Так как $A_0 - A(t) = \gamma_x n$, то обозначив $\ln t_0 + U_0 / B = a$; $1 / B = b$; $\ln t = y$; $\gamma_x n = A_0 - A(t) = x$, получаем:

$$y = a - bx. \quad (13)$$

По экспериментальным данным, $y = \ln t$ и $x = A_0 - A(t)$, методом наименьших квадратов определяются коэффициенты a и b.

Поскольку a и b зависят от T, проводя испытания образцов при температурах T_1 и T_2, получим два уравнения:

$$a_1 = \ln t_0 + b_1 U_0;$$
$$a_2 = \ln t_0 + b_2 U_0.$$

Решая полученную систему, находим U_0:

$$U_0 = (a_1 - a_2) / (b_1 - b_2). \quad (14)$$

Формула (11) определяет зависимость долговечности материала от действия агрессивной среды.

При нагружении образцов сжимающей нагрузкой в данном случае мы определяем, как изменился начальный активационный барьер U_0 под действием химической энергии γ_x. Разрушающая нагрузка или предел прочности, полученные в результате эксперимента, являются оценкой энергии активации $\Delta U = U_0 - \gamma_x$, изменение которой происходит под действием химической энергии. Поэтому графики, построенные на основании экспериментальных данных, приведенных в работе [14], можно привести в координатах $\Delta U / U_0 - \tau$ (рис. 1).

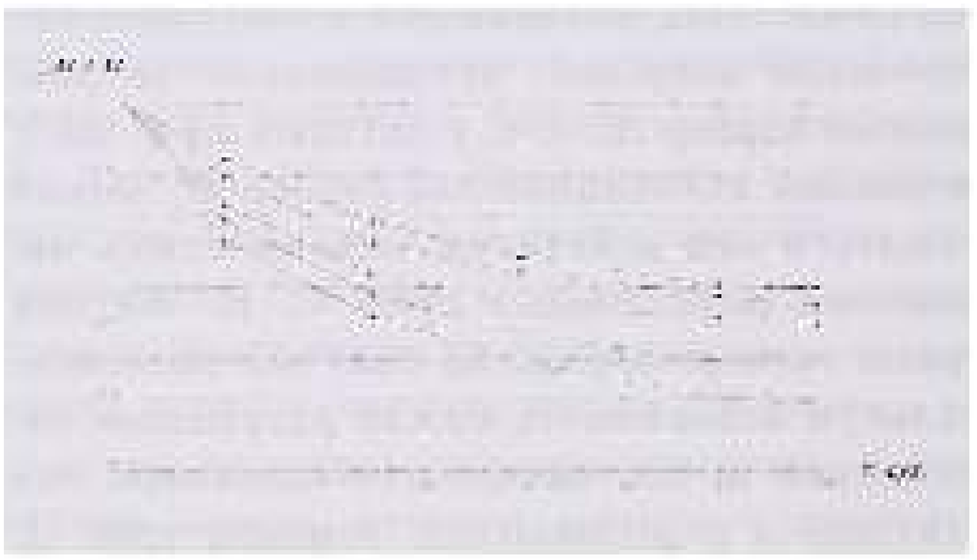


Рисунок 1

Зависимость прочности полиэфирного (ПН-1) бетона от длительности воздействия серной кислоты концентрации, %: 1—5; 2—15; 3—30; 4—50; 5—70

Обрабатывая результаты испытаний с помощью метода наименьших квадратов, получили линейную зависимость $\Delta U / U_0 = a \ln \tau + b$. Значимость коэффициентов регрессии a и b оценена с помощью выборочного коэффициента корреляции ($r^* > 0{,}8$). Линейные в полулогарифмических координатах зависимости $\Delta U / U_0 - \tau$ показаны на рис. 2. В общем виде графики на этих рисунках можно описать функцией вида:

$$\Delta U / U_0 = a \ln \tau + b. \quad (15)$$

Очевидно, что к линейной зависимости можно привести формулу (11).

Преобразуем формулу (11) к виду линейной функции (15):

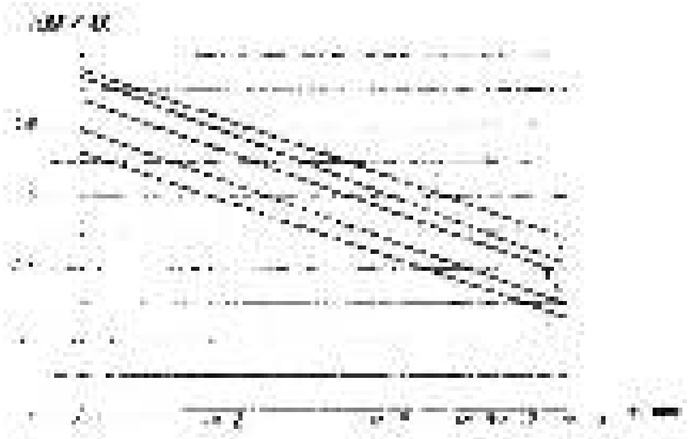


Рисунок 2

Изменение энергии активации полиэфирного (ПН-1) бетона от длительности воздействия серной кислоты концентрации, %: 1—5; 2—15; 3—30; 4—50; 5—70

$$\Delta U / U_0 = [\ln\tau \ominus kT / U_0] - [\ln A \ominus kT / U_0] \quad (16)$$

$$a = kT / U_0 \quad (17)$$

$$b = -\ln A \ominus kT / U_0 \quad (18)$$

Учитывая, что напряжение разрушения является оценкой энергии (работы), графики на рис. 1 можно рассматривать как графики изменения потенциальной энергии U за счет действия на образец химической энергии.

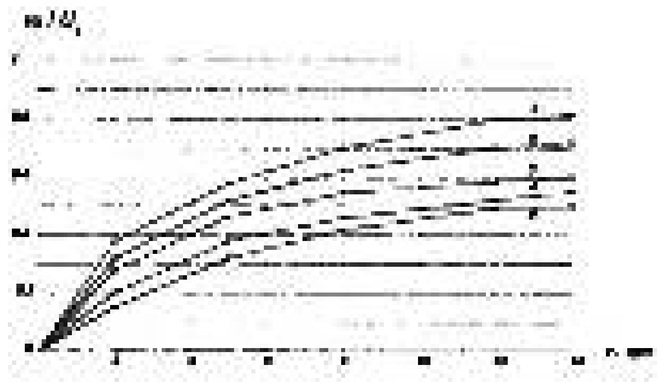


Рисунок 3

Зависимость энергии химического взаимодействия от длительности воздействия серной кислоты

Анализируя графики на рис. 3, приходим к выводу, что энергия химического взаимодействия зависит от длительности воздействия агрессивной среды и ее концентрации. С увеличением длительности экспонирования композита в агрессивной среде наблюдается увеличение энергии химического взаимодействия. Чем выше концентрация агрессивной среды, тем больше энергия химического взаимодействия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бартенев Г. М.** Прочность и механизм разрушения полимеров / Г. М. Бартенев. — М. : Химия, 1984. — 280 с.

2. **Бондаренко В. М.** Расчетные модели силового сопротивления железобетона : моногр. / В. М. Бондаренко, В. И. Колчунов. — М. : Изд-во АСВ, 2004. — 472 с.

3. Долговечность бетона и железобетона / П. Г. Комохов, В. М. Латыпов, Т. В. Латыпова, Р. Ф. Ваганов. — Уфа : Белая река, 1998. — 216 с.

4. **Журков С. Н.** Микромеханика разрушения полимеров / С. Н. Журков, В. С. Куксенко, А. И. Слуцкер // Проблемы прочности. — 1971. — № 2. — С. 45—50.

5. **Минас А. И.** Границы безопасной скорости коррозии бетона железобетонных конструкций / А. И. Минас // Изв. СКНЦ ВШ. Техн. науки. — 1974. — № 4. — С. 72—84.

6. **Москвин В. М.** Коррозия, методы защиты и повышения долговечности бетона и железобетона / В. М. Москвин, С. Н. Алексеев, В. И. Новгородский. — М. : Стройиздат, 1965. — 317 с.

7. **Мощанский Н. А.** Прочность и стойкость бетонов / Н. А. Мощанский. — М. : Госстройиздат, 1951. — 130 с.

8. **Патураев В. В.** Технологии полимербетонов / В. В. Патураев. — М. : Стройиздат, 1977. — 236 с.

9. **Полак А. Ф.** Расчет долговечности железобетонных конструкций / А. Ф. Полак. — Уфа : Изд-во Уфимск. нефт. ун-та, 1983. — 116 с.

10. **Регель В. Р.** Кинетическая природа прочности твердых тел / В. Р. Регель, А. И. Слуцкер, Э. Е. Томашевский. — М. : Наука, 1974. — 560 с.

11. **Соломатов В. И.** Полимерцементные бетоны и бетоны / В. И. Соломатов. — М. : Стройиздат, 1967. — 184 с.

12. **Соломатов В. И.** Химическое сопротивление композиционных строительных материалов / В. И. Соломатов, В. П. Селяев. — М. : Стройиздат, 1987. — 264 с.

13. **Соломатов В. И.** Химическое сопротивление наполненных цементных композитов / В. И. Соломатов, В. П. Селяев, Л. М. Ошкина. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2001. — 152 с.

14. **Соломатов В. И.** Химическое сопротивление материалов / В. И. Соломатов, В. П. Селяев, Ю. А. Соколова. — М. : Изд-во РААСН, 2001. — 284 с.

15. **Тагер А. А.** Физико-химия полимеров / А. А. Тагер. М. : Химия, 1968. — 536 с.

16. **Федоров В. С.** Основы обеспечения пожарной безопасности зданий : учеб. пособие / В. С. Федоров. — М. : Изд-во АСВ, 2004. — 174 с.

Поступила 16.09.08.

РАСЧЕТ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В. П. Селяев

Представлены модели для оценки долговечности железобетонных конструкций, работающих в условиях действия агрессивных сред. Предложены дополнительные показатели качества для бетона и арматуры, которые необходимо нормировать при расчете долговечности. Показано, что в общем случае вид модели деградации изделия не зависит от вида энергии разрушения.

Долговечность — один из важнейших показателей качества строительных конструкций. Считалось, что бетонные и железобетонные конструкции имеют неограниченную долговечность; более того, прочность бетона конструкции, следовательно, долговечность со временем увеличивается. Однако данные обследований показывают, что из-за меняющихся условий эксплуатации и нарушения технологических процессов железобетонные конструкции, запроектированные без учета требований долговечности, могут прийти в аварийное состояние в течение 5—10 лет и ранее. Известны примеры, когда железобетонные конструкции разрушались через 10 лет, а иногда через 3 года [1].

Практика эксплуатации показывает, что каждое изделие и конструкция имеют определенную долговечность, которую необходимо уметь рассчитывать. Однако до сих пор нет теоретических методов вычислений, оценки и прогнозирования долговечности строительных конструкций, работающих при совместном действии силовых факторов и агрессивных сред. В пункте 6.1.2 СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции: основные положения» сформулировано требование: «Расчет бетонных и железобетонных конструкций по долговечности (исходя из расчетов по предельным состояниям первой и второй групп) следует производить из условия, по которому при заданных характеристиках конструкции (размерах, количестве, арматуре и других характеристиках), показателях качества бетона (прочность, морозостойкости, водонепроницаемости, коррозионной стойкости, температуростойкости и других показателях) и арматуры (прочности, коррозионной стойкости и других показателях) с учетом влияния окружающей среды продолжительность межремонтного периода и срока службы конструкций здания или сооружения должна быть не менее установленной для конкретных типов зданий и сооружений». Однако не предложены расчетные модели, учитывающие деградацию бетона и арматуры при эксплуатации конструкций в агрессивных средах, не определены показатели качества бетона и арматуры, необходимые для этих расчетов. Поэтому проблема расчета долговечности бетонных и железобетонных конструкций является актуальной и требует незамедлительного разрешения.

В работе предпринята попытка предложить модели для оценки долговечности железобетонных конструкций при действии химически активных сред. На основании анализа расчетных моделей предложены дополнительные показатели качества бетона и арматуры, которые необходимо нормировать. Показано, что в общем случае модель деградации может быть единой, независимой от вида энергии, вызывающей деградацию.

Виды деградации бетонных и железобетонных конструкций. Деградация — процесс ухудшения эксплуатационных показателей качества строительных материалов и конструкций, интенсивность которого связана с действием силовых факторов, физических полей, химических веществ, живых организмов. Предельным состоянием деградации бетона, изделия или конструкции является разрушение. Поэтому можно считать, что деградация — это процесс разрушения материала.

На данном этапе развития теории деградации предложена нижеследующая классифи-

кация по виду агрессивного воздействия [16; 18; 19].

Физическая деградация — процесс ухудшения свойств изделий под действием полей (силовых, электрических, магнитных, температурных) и излучений.

Химическая деградация происходит под действием химически активных веществ — твердых, жидких или газообразных.

Биологическая деградация — разрушение, интенсивность которого связана с жизнедеятельностью живых организмов. Количество агрессивного вещества, его концентрация в жидкой или газовой среде определяется в данном случае биологическим процессом.

С энергетической точки зрения, ухудшение свойств и разрушение материалов и конструкций происходит под действием энергии, прикладываемой к материалу. Вид энергии (механической, физической, химической или биологической) может быть любым.

Независимо от вида энергии, природы разрушающего воздействия на материал можно выделить несколько механизмов деградации [16; 18; 19].

Первый механизм деградации характеризуется развитием процессов разрушения на границе раздела материала и агрессивной среды. Подобный механизм деградации назван **гетерогенным** и наблюдается при механическом (ударном) повреждении верхних слоев элементов железобетонных конструкций; протекании химического взаимодействия агрессивной среды с реакционно способными компонентами бетона на поверхности контакта среды и изделия; физических биоповреждениях; одностороннем действии высоких, очень низких или знакопеременных температур.

Второй механизм деградации характеризуется равномерным развитием процессов разрушения по всему объему материала. Этот механизм назван **гомогенным**. Наблюдается при равномерном по объему накоплении микроповреждений от силовых факторов (циклическое, длительное нагружение сжатых, растянутых элементов); химически активной среды, равномерно распределенной по объему материала, отрицательных или положительных температур, равных в любой точке объема; излучений (рентгеновских, магнитных, радиационных и т. д.).

Третий механизм деградации характеризуется неравномерным по объему накоплением повреждений. Он условно назван **диффузионным** и может проявляться при одностороннем действии температур, агрессивных сред, неравномерном распределении механических напряжений.

Подобие механизмов деградации при различных видах воздействия свидетельствует о единой природе разрушения материала на микроуровне и дает возможность создать общие модели, которые позволят прогнозировать долговечность бетонных и железобетонных конструкций при различных видах энергетического воздействия.

Очевидно, каждый вид деградации может быть описан какой-либо моделью деградации. Для выбора модели деградации необходимо учитывать особенности взаимодействия агрессивной среды с бетоном в изделии, арматурой, а также знать, какие изменения происходят в бетоне под действием агрессивной среды; изменение каких показателей следует контролировать для аналитического описания процесса деградации изделия или конструкции.

Взаимодействие агрессивной среды с бетоном и основные показатели химического сопротивления. Длительное действие агрессивных сред на бетон сопровождается ухудшением (деградацией) структуры и свойств материала. При этом визуально и инструментально можно выделить следующие явления: изменение прочности, жесткости, набухание, пластифицирование или охрупчивание композита, уменьшение концентрации одних структурообразующих компонентов и накопление других, изменение показателей поровой структуры, изменение цвета, размеров, веса образцов [6; 15; 16; 18; 19].

Из многообразия проявлений взаимодействия материала с агрессивной средой следует выделить два основных процесса: перенос агрессивной среды в объем материала и изменение упруго-прочностных показателей качества бетона в зоне деградации. По мнению С. Н. Алексеева, Ю. М. Баженова и В. М. Москвина [1; 4; 10], скорость и полнота коррозионных процессов в бетоне под действием жидких и газообразных сред в значительной степени зависят от скорости переноса среды в объем изделия и определяются первым законом Фика:

$$j = -D\,(dc\ /\ dx), \qquad (1)$$

где j — диффузионный поток, т. е. количество вещества, проходящего через единицу площади в единицу времени; $dc\ /\ dx$ — градиент концентрации вещества в растворе; D — коэффициент диффузии агрессивной среды.

В том случае, когда количество вещества, поступающего извне вглубь материала, не соответствует количеству отводимого вещества, для описания процесса изменения концентрации агрессивной среды по толщине изделия используют второй закон Фика:

$$\frac{dc}{dt} = D\left(d^2c\ /\ dx^2\right), \qquad (2)$$

где t — длительность действия агрессивной среды на бетон.

При наличии градиента гидростатического давления скорость подвода агрессивной среды и отвода продуктов описывается уравнением Ларси:

$$\frac{dQ}{dt} = -D_\phi \frac{\Delta P}{\Delta x}, \qquad (3)$$

где D_ϕ — коэффициент фильтрации; ΔP — перепад давления на единицу длины; Q — количество фильтрата.

С учетом капиллярно-пористого строения структуры бетона предложено [13] процесс переноса агрессивной среды вглубь изделия описывать уравнением вида:

$$\Pi(1-\omega)\frac{\partial c}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - K_1 S_1 C, \qquad (4)$$

где П — пористость бетона; ω — доля пор, заполненных водой; C — концентрация агрессивного компонента; D_x — эффективный коэффициент диффузии; K_1 — константа скорости растворения агрессивного компонента в поровой жидкости бетона; S_1 — поверхность раздела агрессивной среды и поровой жидкости; t — время; x — координата, направленная от поверхности изделия вглубь бетона.

Для описания процесса влагопередачи через элементарный объем капиллярно-пористого тела С. В. Александровским [2] предложено дифференциальное уравнение влагопроводимости бетона следующего вида:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D\nabla^2 C - \frac{1}{\gamma}\frac{\partial H}{\partial t},$$

где C — влажность материала на поверхности; γ — плотность материала; H — функция гидратации бетона, определяющая собой количество химически связываемой влаги (кг) при гидратации цемента в единице объема бетона ($м^3$).

Решения приведенных уравнений переноса (1—4) дают возможность определить координату продвижения агрессивной среды в бетон, следовательно, и ширину зоны, в которой происходит взаимодействие агрессивных компонентов среды с реакционноспособными компонентами бетона. Это одна из важнейших характеристик в теории сопротивления материалов агрессивным воздействиям. В литературе ее часто называют глубинным показателем [9].

В общем случае глубинный показатель a определяется формулой вида:

$$a = \kappa\ \ t^{\gamma}, \qquad (5)$$

где κ — константа скорости деградации; для неагрессивной среды, А. И. Минас предлагает [9] принимать ее равной 0,1 мм в год; γ — показатель степени, который может быть меньше, равным или больше единицы. Теоретически показатель γ получается равным 0,5 [16; 18; 19].

При диффузионном переносе среды предлагается [18] константу κ определять по формуле вида:

$$\kappa = \kappa(\xi)\sqrt{D}, \qquad (6)$$

где $\kappa(\xi)$ — коэффициент, величина которого зависит от точности инструментального определения изменения прочности бетона в зоне деградации.

Большинство исследователей считают, что зависимость типа 5 хорошо описывает изменение глубинного показателя при действии солей хлора. Предлагается значения констант κ и γ принимать равными соответственно $\kappa = (3{,}3 \div 4{,}1)$; $\gamma = (0{,}45 \div 0{,}55)$ [3].

В ряде литературных источников для определения координаты фронта карбонизации предлагается принять линейный закон изменения агрессивной среды от C_0 на поверхности бетона до фронта химического взаимодействия и константу k определять по формуле:

$$\kappa = \sqrt{2DC_0/m_0}, \qquad (7)$$

где m_0 — концентрация гидрооксида кальция в объеме цементного камня; C_0 — концентрация углекислого газа; D — эффективный коэффициент диффузии.

Финские исследователи [3] при определении глубины карбонизации подтверждают возможность применения формулы (7), но уточняют ее поправкой Бейкера, которая учи-

тывает эффективную длительность $t_{эф}$ процесса карбонизации:

$$t_{эф} = \sum_{i=1}^{n} t_{ei} - \sum_{i=2}^{n}\left(\frac{x_{i-1}}{B}\right)^2, \qquad (8)$$

где $B = \left[\frac{2D'(C_1 - C_2)}{в}\right]^{0,5}$, x_n — глубина карбонизации после n-го цикла увлажнения высыхания; t_{ei} — продолжительность i-го периода с условиями, благоприятными для развития процесса карбонизации; C_1, C_2 — соответственно влажность воздуха на поверхности изделия и объеме пор; $в$ — количество влаги в парах. Поправка Бейкера позволяет учитывать те периоды, когда процесс карбонизации приостанавливается.

Хаккиненом [3] на основании экспериментального исследования глубины карбонизации предложено константу скорости деградации $к$ определять зависимостью вида:

$$к = C_{env} C_{air} a B^{в}, \qquad (9)$$

где C_{env} — коэффициент, характеризующий окружающую среду, принимаемый равным 1 и 0,5 для конструкций, соответственно закрытых от дождя и открытых; C_{air} — коэффициент, учитывающий воздухововлечение, равный (1÷0,7); B — класс бетона; a, $в$ — параметры, зависящие от вида наполнителя.

Паррот [3] предложил глубину карбонизации определять на основе кислородной проницаемости бетона. Выражение для определения $к$ имеет вид:

$$к = \frac{64\,П^{0,4}}{m_0^{0,5}}, \qquad (10)$$

где П — проницаемость бетона для кислорода при 60 % относительной влажности; m_0 — концентрация гидрооксида кальция в объеме цементного камня.

Де Ситтер и Кишитиани [3] предложили для определения глубины карбонизации константу $к$ определить в зависимости от B / ц по формулам типа:

$$\text{при } B/ц > 0{,}6;\ к = 26\,(B/ц - 0{,}3)^2 + 1{,}6;$$
$$\text{при } B/ц < 0{,}65;\ к = (46\,B/ц - 17{,}6)/2{,}7. \qquad (11)$$

При гидростатическом давлении процесс переноса среды происходит преимущественно за счет фильтрации; предложено константу $к$ определять по формуле вида:

$$к = \sqrt{2D_{ф}P_{0}/\eta}, \qquad (12)$$

где η — вязкость жидкости.

При переносе жидкости за счет капиллярного всасывания предлагается [18] $к$ определять по формуле:

$$к = \sqrt{2\sigma\cos\Theta/2\eta}. \qquad (13)$$

При сочетании внешнего давления и капиллярных сил для определения $к$ имеем:

$$к = \frac{r}{2\eta}\sqrt{P_0 + \frac{2\sigma\cos\Theta}{r}} \qquad (14)$$

где r — радиус капилляра; σ — поверхностное натяжение; Θ — угол смачивания.

В. М. Бондаренко и В. И. Колчуновым предложено [5] глубинный показатель определять на основе энтропийной модели Гульдберга — Вааге зависимостью вида:

$$a = a_0\,(1 - e^{-2t}),$$

где a_0 — предельная величина глубины повреждения; a — некоторая эмпирическая характеристика скорости, зависящая от вида среды бетона.

Экспериментальные исследования изменения глубинного показателя от длительности действия агрессивной среды на бетон проводились методом микротвердости. Методика исследований и полученные экспериментальные данные описаны в работах ученых кафедры строительных конструкций Мордовского государственного университета [1—3; 8; 16—19].

Впервые получены данные, которые показывают, как продвигается под действием агрессивных сред граница области разрушения вглубь объема образца (рис. 1).

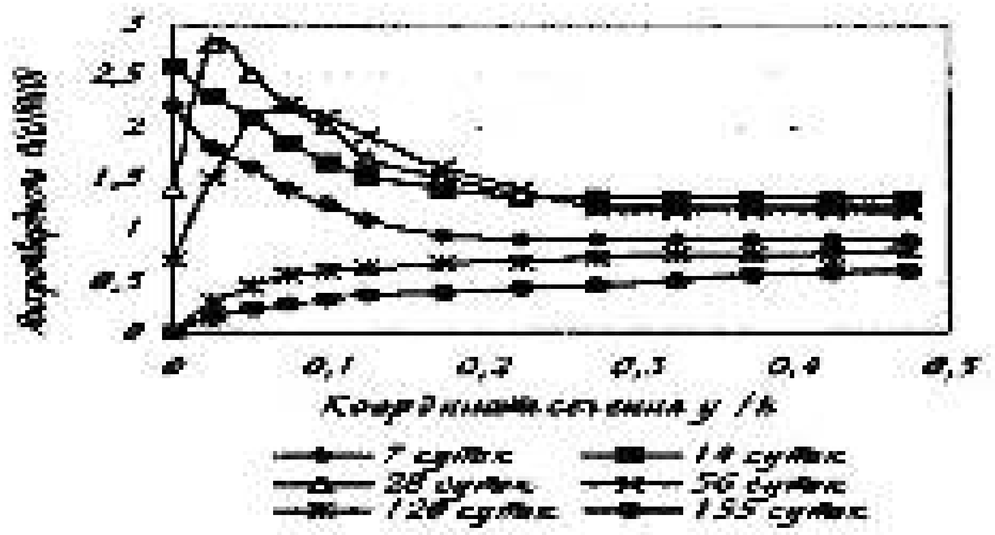


Рисунок 1

Изменение микротвердости цементного камня (наполнение — шлак) в 2 % растворе H_2SO_4

Анализ экспериментальных данных подтверждает, что зависимость (5) при $\gamma = 0{,}5$ с достаточной точностью описывает кинетику изменения глубинного показателя.

Второй важной характеристикой химического сопротивления бетонов является показатель интенсивности химического взаимодействия агрессивной среды с бетоном. В наших

работах предложено показатель интенсивности химического взаимодействия определять методом микротвердости. Относительное изменение микротвердости бетона под действием агрессивной среды дает возможность оценить изменение свойств материала в микрообъеме, проследить изменение свойств по высоте поперечного сечения образца. Существует прямая корреляционная зависимость между прочностью, модулем деформаций и микротвердостью.

Химическое взаимодействие среды и бетона происходит между реакционноспособными группами. Скорость распада химических связей под действием агрессивной среды описывается функцией вида:

$$\frac{dc}{dt} = -k_x c_s^n c_c \qquad (15)$$

где c_c и c_s — концентрация реакционноспособных компонентов в среде и материале; k_x — константа химической активности.

Если предположить, что показатели n и m в уравнении (15) равны единице и перенос среды обеспечивает концентрацию среды c_c на одном уровне, то, решая уравнение (15) относительно c_s, получаем функцию изменения во времени в виде:

$$c_s = c_{s0} \exp\{-k_x c_c t\}. \qquad (16)$$

Предполагая, что работоспособная площадь A_s поперечного сечения в бетоне пропорциональна концентрации реакционноспособных связей C_s, можно записать:

$$A_s = A_{s0} \exp\{-\kappa_x c_c t\}. \qquad (17)$$

Тогда предел прочности σ_s и модуль упругости бетона E_s можно определить по формулам:

$$R_s(t) = R_{s0} \exp\{-k_x c_c t\}; \quad E_s(t) = E_{s0} \exp\{-k_x c_c t\}. \qquad (18)$$

Экспериментальные данные, полученные путем измерений микротвердости, подтвердили возможность достоверного описания изменения предела прочности и модуля упругости экспоненциальными функциями вида (18).

С учетом выражения (18) коэффициент химической стойкости будет иметь вид:

$$\kappa_{xc} = \frac{R_{s(t)}}{R_{s0}} = \exp\{-\kappa_x c_c t\}. \qquad (19)$$

Экспоненциальная зависимость коэффициента химической стойкости от длительности действия среды была впервые экспериментально обоснована в работах И. Е. Путляева [20]. В наших работах предлагается коэффициент химической стойкости заменить на коэффициент химической активности κ_{xa}, под которым понимается относительное изменение предела прочности, определенное методом микротвердости для микрообъема на поверхности образца из условия $\kappa_{xc} + \kappa_{xa} = 1$. На основании анализа перколяционной модели твердого тела [17] для описания изменений коэффициента стойкости и активности во времени предложена функция вида:

$$\kappa_{xc} = 1 - \alpha t^{\beta}, \kappa_{xa} = 1 - \kappa_{xc} = \alpha t^{\beta}. \qquad (20)$$

Анализ литературных данных показывает, что для описания изменения относительной прочности во времени можно использовать как экспотенциальную (19) зависимость, так и степенную (20). Но в каждом конкретном случае необходимо проверять, какая из них предпочтительнее. Так, обработка экспериментальных данных, приведенных в ГОСТе 25881-83, показывает, что степенная функция в данном случае более точно описывает результаты эксперимента.

Представленные показатели химического сопротивления α и κ_{xa} дают возможность рассчитывать долговечность изделий из бетонов, работающих в агрессивных средах. При этом модель деградации строится с учетом изохрон деградации, определенных экспериментально [16; 18; 19].

Модели деградации для прогнозирования долговечности бетонных изделий. Каждому механизму деградации соответствуют определенные модели деградации. Общий вид деградационной функции можно представить выражением:

$$D = B(t) \,/\, B(0) = f(t, T, \sigma, c, h, \alpha, a), \qquad (21)$$

где t — время; T — температура; σ — напряжение; c — концентрация агрессивной среды; h — геометрическая характеристика; α и a — параметры деградации.

Для элементов конструкций, работающих на осевое сжатие или растяжение, деградационные функции жесткости и несущей способности равны:

$$D(N_r) = \iint_{F(t)} E(t, x, y)\,dx\,dy \,/\, \iint_{F(t_0)} E(t_0, x, y)\,dx\,dy; \qquad (22)$$

$$D(N_p) = \iint_{F(t)} k(t, x, y) E(t, x, y)\,dx\,dy \,/\, \iint_{F(t_0)} k(t_0, x, y) E(t_0, x, y)\,dx\,dy; \qquad (23)$$

$$D(N) = \iint_{F(t)} \sigma(t, x, y)\,dx\,dy \,/\, \iint_{F(t_0)} \sigma(t_0, x, y)\,dx\,dy. \qquad (24)$$

Для изгибаемых элементов деградационные функции жесткости и несущей способности имеют вид:

$$D(Wu) = \iint_{F(t)} E(t,y,x)y^2 dxdy \Big/ \iint_{F(0)} E(t_0,y,x)y^2 dxdy; \quad (25)$$

$$D(M_x) = \iint_{F(t)} \varepsilon(t,x,y)E(t,y,x)ydxdy \Big/ \iint_{F(0)} \varepsilon(t_0,x,y)E(t_0,y,x)ydxdy; \quad (26)$$

$$D(M) = \iint_{F(t)} \sigma(t,y,x)ydxdy \Big/ \iint_{F(0)} \sigma(t_0,y,x)ydxdy. \quad (27)$$

Вид деградационной функции выбирают исходя из характера распределения агрессивной среды, напряжений по площади поперечного сечения и учитывая связь между различными деградационными функциями:

$$D(N) = f(D(W)); \; D(M) = f(D(N)); \; D(M) = f(D(W)). \quad (28)$$

Предлагается [18] выделить основные типы деградации и представить их в виде феноменологических моделей. Феноменологические модели, представляющие собой эпюры модуля упругости или прочности по высоте поперечного сечения, в зависимости от вида изохрон деградации могут быть линейными и нелинейными, симметричными и несимметричными. В линейных моделях деградации положение изохрон характеризуется двумя параметрами α и a, где a — ордината фронта деструкции, характеризующая скорость деградации под действием напряжений и агрессивной среды; α — характеристика механизма деградации, определяемая как угол наклона прямолинейной изохроны к оси абсцисс (рис. 2 *а*). Если угол α равен нулю, то наблюдается деградация гетерогенного типа, применяемая для материалов, скорость взаимодействия которых с агрессивной средой значительно выше скорости ее переноса в объем элемента. Если угол α равен $\pi/2$, то деградация происходит по гомогенному механизму и характеризуется большой скоростью насыщения материала агрессивной средой и малой скоростью химического взаимодействия.

Если скорость насыщения соизмерима со скоростью химических взаимодействий, то наблюдается диффузионный тип деградации и угол α изменяется в пределах от 0 до $\pi/2$.

Для описания деградации цементных композитов в кислых растворах малой концентрации в работе [17] предлагается модель, представленная на рис. 2 *в*. Она применима для материалов, у которых на изохроне деградации можно выделить три зоны: 1) деструкции; 2) латентной деградации; 3) естественного твердения.

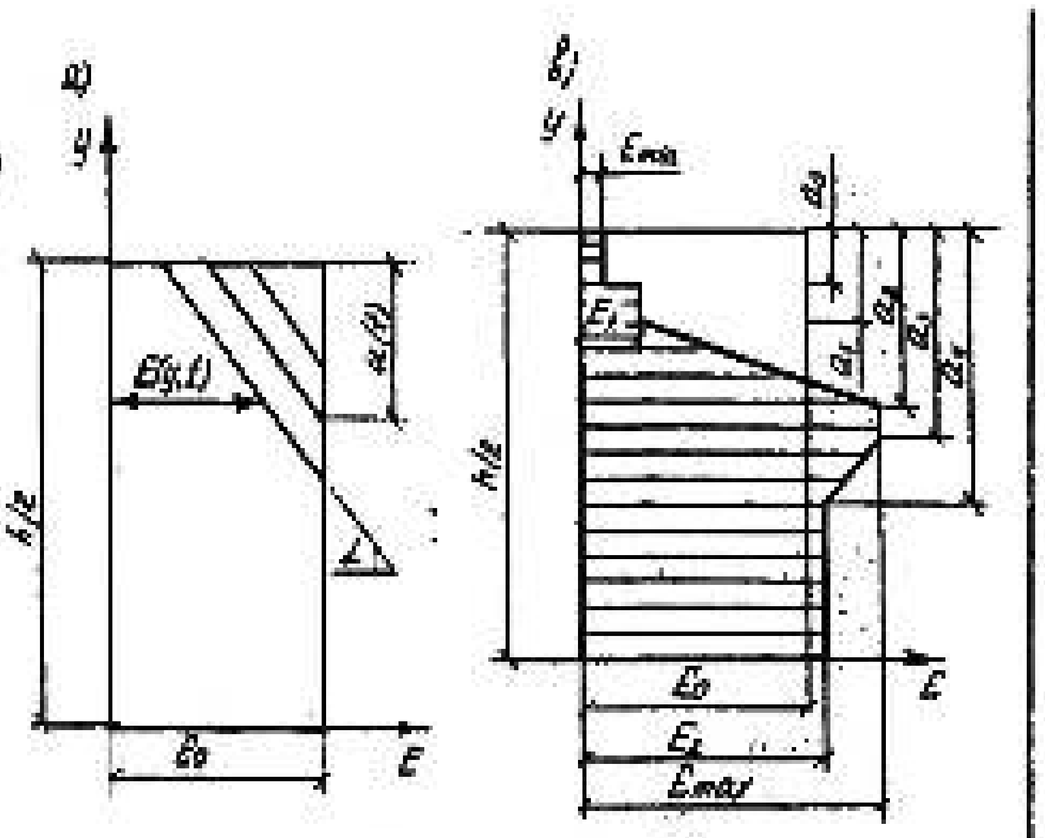


Рисунок 2

Феноменологические модели деградации

В процессе эксплуатации конструкции в условиях действия агрессивных сред обычно удобнее в качестве параметров деградации использовать глубинный показатель (a) и изменение свойств на поверхности элемента (σ, H, E). Если в качестве упруго-прочностной характеристики принять модуль упругости, то с учетом модели, представленной на рис. 2 *а*, закон изменения E по высоте поперечного сечения h имеет вид:

$$\begin{gathered} E(y) = E_{max} \text{ при } (h/2 - a_0) \le y \le h/2; \\ E(y) = E_1 \text{ при } (h/2 - a_1) \le y \le (h/2 - a_0); \\ E(y) = E_1 + (E_{max} - E_1)\frac{h/2 - a_1 - y}{a_2 - a_1} \\ \text{при } (h/2 - a_2) \le y \le (h/2 - a_1); \\ E(y) = E_{max} \text{ при } (h/2 - a_3) \le y \le (h/2 - a_2); \\ E(y) = E_{max} - (E_{max} - E_2)\frac{h/2 - a_3 - y}{a_4 - a_3} \\ \text{при } (h/2 - a_4) \le y \le (h/2 - a_3); \\ E(y) = E_2 \text{ при } 0 \le y \le (h/2 - a_4). \end{gathered} \quad (29)$$

Деградационная функция жесткости элемента прямоугольного сечения с размерами $b \times h$ при сжатии ($D(W_c)$) определяется выражением:

$$D(W_c) = \frac{W_c(t)}{W_c(t)} = 2\int_0^{h/2} E(y)bdy/(E_0bh). \quad (30)$$

Интегрируя (30), с учетом (29) получаем:

$$\begin{gathered} D(W_c) = \frac{E_2}{E_0} - \frac{E_1}{E_0}\left(\frac{2a_2 - a_1 - a_2}{h}\right) - \frac{E_2}{E_0}\left(\frac{a_3 + a_4}{h}\right) + \\ + 2\frac{E_{max}}{E_0}\frac{a_0}{h} - \frac{E_{max}}{E_0}\left(\frac{a_1 + a_2 - a_3 - a_4}{h}\right) \end{gathered} \quad (31)$$

Если $a_0 = 0$, $a_2 = a_3$, $a_3 = a_1$, $a_4 = a_1$, $E_{max} = E_0$ и $E_2 = E_0$, то получим ступенчатую модель, деградационная функция которой имеет вид:

$$D(W_2) = 1 - 2a_1 (1 - E_1 / E_0) / h. \quad (32)$$

Принимая $a_0 = 0$, $a_1 = 0$, $a_3 = a_2$, $a_4 = a_0$, $E_{max} = E_0$ и $E_2 = E_0$, получаем линейную модель, представленную на рис. 2 *а*. Деградационная функция для этой модели имеет вид:

$$D(W_2) = 1 - a_2 (1 - E_1 / E_0) / h. \quad (33)$$

Если $a_1 = a_0$, $a_2 = a_0$, $a_3 = a_0$, $a_4 = a_0$, $E_{max} = E_0$, $E_1 = E_0$, $E_2 = E_0$ и $E_{min} = 0$, то имеем модель гетерогенной деградации:

$$D(W_2) = 1 - 2a_0 / h. \quad (34)$$

Модель гомогенной деградации также является частным случаем обобщенной модели, так как при $a_0 = 0$, $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = h/2$, $E_{max} = E_1$ и $E_2 = E_1$:

$$D(W_2) = E_1 / E_0. \quad (35)$$

Функции деградации дают возможность описать изменение несущей способности при сжатии, изгибе, растяжении и жесткости конструктивного элемента или изделия во времени. Переменные во времени являются параметры a_i и E_1, входящие в деградационные функции. Функции деградации учитывают влияние на долговечность размеров поперечного сечения, вида напряженно-деформированного состояния.

Функции деградации могут быть выражены через одну базовую деградационную функцию, определение которой наиболее доступно и достоверно. Параметры деградации a_i и E_1 могут определяться экспериментально или теоретически.

Применение метода деградационных функций для оценки долговечности железобетонных конструкций. Прогнозирование долговечности железобетонных конструкций предлагается производить с применением метода деградационных функций [17]. В качестве примера рассмотрим изгибаемый элемент с прямоугольной формой поперечного сечения и одиночной арматурой (например, плита с арматурой в растянутой зоне). Предположим, что деградация бетона плиты вызвана жидкими агрессивными средами, действие которых обусловлено технологической линией, расположенной на вышележащих этажах. Тогда возможные расчетные схемы прочности поперечного сечения, нормального к оси изгибаемого элемента, будут иметь вид (рис. 3).

На расчетных схемах показано, что зона деградации (x_1) находится в пределах сжатой зоны ($x_1 \le x$); расчетное сопротивление, модуль деформации в пределах зоны деградации могут изменяться по различным законам.

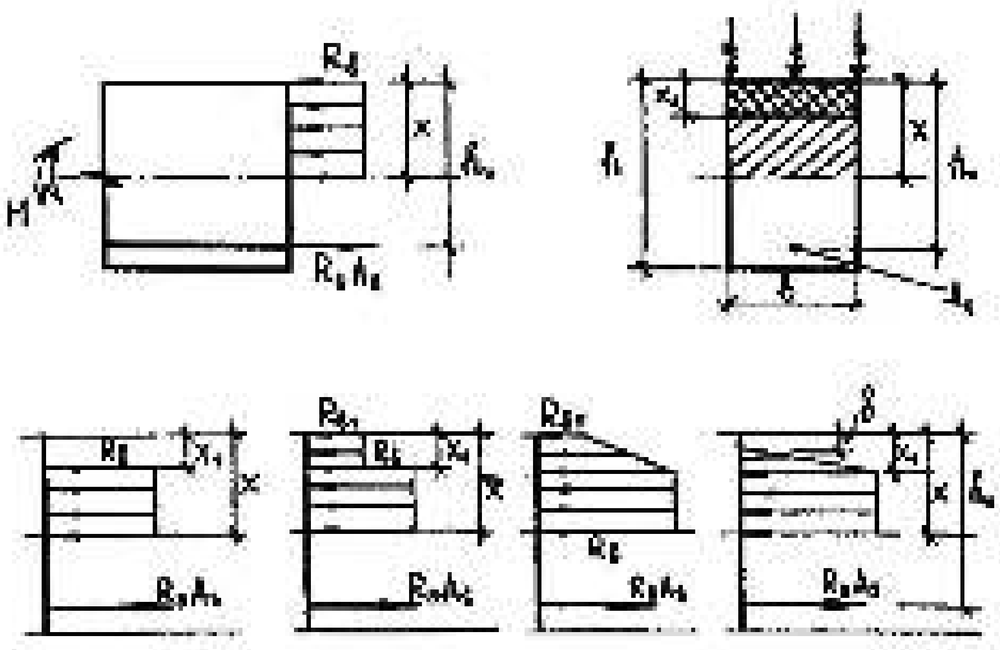


Рисунок 3

Расчетные схемы нормального сечения изгибаемого элемента

На рис. 3 приняты обозначения: R_s, R_b — расчетные сопротивления арматуры и бетона; x — высота сжатой зоны; h, h_0 — полная и рабочая высота сечения; A_s — площадь поперечного сечения; b — ширина поперечного сечения элемента; x_1 — высота зоны деградации.

Введем обозначения: $\xi = x / h_0$; $\xi_1 = x_1 / h_0$; $\alpha_m = \xi (1 - 0{,}5\xi)$; $\mu = A_s / bh_0$. Тогда условие прочности можно записать в виде неравенства:

$$M \le (\alpha_m - \alpha_{m1}) R_b b h_0^2. \quad (36)$$

Выражения для определения ξ и α_{m1}, соответствующие данной расчетной схеме, приведены в табл.

Обозначим выражение в правой части неравенства (36) как M_{u_i}, где i — номер расчетной схемы. Тогда отношение M_{u_i} / M_{u_0} будет показывать относительные изменения несущей способности нормального поперечного сечения изгибаемого элемента под совместным действием силовых факторов и агрессивной среды. Так, например, делением функции M_{u_1} и M_{u_2} на функцию M_{u_0} получаем:

$$D(M_1) = \frac{M_{u_1}}{M_{u_0}} = 1 - \frac{\xi_{11}}{1 - 0{,}5 R_s / R_b \mu} = 1 - \frac{\xi_{11}}{1 - 0{,}5\xi}; \quad (37)$$

$$D(M_2) = \frac{M_{u_2}}{M_{u_0}} = 1 - \frac{\xi_{11}\left(1 - R_s/R_b\right)}{1 - 0{,}5 R_s / R_b \mu} + \frac{0{,}5\xi_{11}^2 R_s/R_b \left(1 - R_s/R_b\right)}{R_s/R_b \mu \left(1 - 0{,}5 R_s / R_b \mu\right)}. \quad (38)$$

Выражения в правой части формул (37) и (38) являются деградационными функциями $D(M)$, несущей способности изгибаемых элементов с одиночной арматурой. Тогда момент, воспринимаемый сечением изгибаемого элемента, через деградационную функцию можно записать в виде:

$$M_{u_i} = D(M)_i M_{u_0}. \quad (39)$$

Таблица

Выражения для определения ξ и a_{m}

Расчетная схема *l*	Параметр		
	a_{m}	$\xi_1 = x / h_0 \le \xi_R$	D_1
0	0	$\xi_0 = \frac{R_s}{R_b}\mu$	1
1	$\xi_1 (1 - 0{,}5\,\xi_{11})$	$\xi_0 + \xi_{11}$	$1 - \frac{\xi_{11}}{1 - 0{,}5\xi_0}$
2	$\left(1 - R_w/R_b\right)\xi_{11}(1 - 0{,}5\xi_{11})$	$\xi_0 + \xi_{11}\left(1 - R_w/R_b\right)$	$1 - \frac{\xi_{11}\left(1 - R_w/R_b\right)}{1 - 0{,}5\xi_0}$
3	$0{,}5\left(1 - R_w/R_b\right)\xi_{11}\left(1 - \frac{1}{3}\xi_{11}\right)$	$\xi_0 + \xi_{11}\left(1 - R_w/R_b\right)$	$1 - \frac{0{,}5\xi_{11}\left(1 - R_w/R_b\right)}{1 - 0{,}5\xi_0}$
4	—	$\xi_0 + 0{,}5\,(\xi_{12} + \xi_0)$	$1 - \frac{\xi_{11}\left(1 - R_w/R_b\right)}{1 - 0{,}5\xi_0}$

В формулах (37) и (38) величины двух параметров ξ_{11} и R_w зависят от длительности действия агрессивной среды.

Относительную высоту зоны деградации можно определить, если известна марка бетона по водонепроницаемости. ГОСТом 12730.5-84 допускается марку бетона по водонепроницаемости определять по коэффициенту фильтрации — K_ϕ, величина которого нормируется и является оценкой скорости переноса жидкости в пористом материале.

Координата x_1 определяет границы зоны деградации. Но, как следует из экспериментальных данных, свойства материала в этой области могут изменяться неравномерно. Формулами (37) и (38) рассматриваются предельные и наиболее простые случаи. Формула (37) получена из предположения, что бетон в деградированной зоне не работает, а формулу (38) можно записать с учетом усредненных значений прочности бетона R_{bl} в зоне деградации в виде:

$$\frac{M_u}{M_u} = 1 - \frac{\xi_{11}\omega\left(1 - R_w/R_b\right)}{1 - 0{,}5\,R_s/R_b\,\mu} = 1 - \frac{\xi_{11}\omega\left(1 - R_w/R_b\right)}{1 - 0{,}5\xi_0}, \quad (40)$$

где ω — коэффициент, учитывающий распределение прочности бетона по высоте зоны деградации. Для расчетной схемы 2 на рис. 3 $\omega = 1$, для схемы 3 $\omega = 0{,}5$. При нелинейной изохроне деградации коэффициент ω можно найти из условия $N_{red} = N_{red,l}$, где N — усилие, воспринимаемое бетоном деградированной зоны. Формулы (37)—(40) можно применить для расчета долговечности железобетонных изгибаемых элементов.

Так как $\xi_{11} = x_1 / h_0$, $x_1 = k_\phi t^n$, и предполагая, что известно допустимое снижение прочности нормального поперечного сечения изгибаемого элемента, из формулы (37) получаем в линейном приближении:

$$t = \left(1 - M_u/M_u\right)\left(1 - 0{,}5\,R_s/R_b\,\mu\right)k_\phi^{-1}\,h_0. \quad (41)$$

По аналогии из формулы (38) получаем:

$$\left(1 - R_w/R_b\right)t = \left(1 - M_u/M_u\right)\frac{1 - 0{,}5\,R_s/R_b\,\mu}{\omega}k_\phi^{-1}h_0. \quad (42)$$

Предположим, что изгибаемый элемент с высотой поперечного сечения h_0 = 40 см выполнен из бетона марки *W*4 класса *B*30 и армируется проволокой *Bp*-II диаметром 4 мм. Тогда R_b = 17 МПа, R_s = 1 145 МПа. Пусть коэффициент армирования равен 0,01. Полагая, что снижение прочности сечения составило 20 %, рассчитывая долговечность изгибаемого элемента по формуле (41), получаем, что она равна 6—20 годам. Для расчета долговечности по формуле (42), следуя работе [17], выразим отношение R_w / R_b в виде функции:

$$R_w / R_b = 1 - \lambda_0\,a\,(t)\,t^n, \quad (43)$$

где $a < 1$ для стареющих элементов, $a > 1$ для элементов со скрытыми дефектами, λ_0 — уровень дефектности структуры; $a\,(t)$ — уровень

энергетического воздействия. Обозначим произведение $\lambda_0 u(t)$ через β и подставим выражение (43) в формулу (42). Тогда долговечность элемента будет определяться из формулы:

$$t^{1+\alpha} = \left(1 - {M_{u2}}/{M_u}\right) \frac{1 - 0{,}5\, {R_z}/{R_b}\, \mu}{\omega \cdot \beta} \cdot k_\varphi^{-1} \cdot h_0. \qquad (44)$$

Параметры α и β определяются экспериментально и, очевидно, должны нормироваться для каждой марки бетона.

В работе [17] предполагается, что структурные элементы имеют скрытые дефекты и являются стареющими, и значение параметра α в первом приближении принято равным 1. Параметр β, по экспериментальным данным [18], может изменяться в пределах от 0,20 до 0,70. Тогда долговечность конструкционного элемента, определенная по формуле (44), может меняться при $\omega = 1$ в пределах 6—17 лет, при $\omega = 0{,}5$ — от 8 до 24 лет.

Очевидно, что для более точного определения долговечности необходимо усовершенствовать методы определения глубинного показателя через коэффициент фильтрации и параметр β; нормировать значения коэффициента химической активности бетонов; уточнить корреляцию между скоростями переноса жидкости и дефектами структуры в композите; уточнить расчетные схемы для предельных состояний первой и второй группы.

Вместе с тем, используя приведенную методику, можно с достаточной достоверностью определять гарантийный срок службы железобетонных конструкций в условиях совместного действия силовых факторов и агрессивных сред.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Агаджанов В. И.** Экономика повышения долговечности и коррозионной стойкости строительных конструкций / В. И. Агаджанов. — М. : Стройиздат, 1976. — 112 с.

2. **Александровский С. В.** Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести / С. В. Александровский. — М. : Стройиздат, 1973. — 432 с.

3. **Анисимов А. В.** Деградационные процессы в железобетоне мостовых конструкций. Методы оценки и прогнозирования : дис. ... канд. техн. наук / А. В. Анисимов. — Саранск, 2003. — 185 с.

4. **Баженов Ю. М.** Бетонополимеры / Ю. М. Баженов. — М. : Стройиздат, 1983. — 472 с.

5. **Бондаренко В. М.** Расчетные модели силового сопротивления железобетона / В. М. Бондаренко, В. И. Колчунов. — М. : Изд-во АСВ, 2004. — 472 с.

6. Долговечность бетона и железобетона / П. Г. Комохов, В. М. Лотыпов, Т. В. Лотыпов, Р. Ф. Вагапов. — Уфа, Белая река, 1988. — 216 с.

7. Коррозия бетона и железобетона, методы защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев. — М. : Стройиздат, 1980. — 187 с.

8. **Куприяшкина Л. И.** Наполненные цементные композиции / Л. И. Куприяшкина. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2007. — 179 с.

9. **Минас А. И.** Границы безопасной скорости коррозии бетона железобетонных конструкций / А. И. Минас // Изв. СКНЦ ВШ. Техн. науки. — 1974. — № 4. — С. 72—84.

10. **Москвин В. М.** Коррозия бетона / В. М. Москвин. — М. : Госстройиздат, 1952. — 337 с.

11. **Мощанский Н. А.** Прочность и стойкость бетона / Н. А. Мощанский. — М. : Госстройиздат, 1951. — 175 с.

12. **Низина Т. А.** Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих / Т. А. Низина. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2007. — 260 с.

13. **Полак А. Ф.** Коррозия железобетонных конструкций зданий нефтехимической промышленности / А. Ф. Полак, В. Б. Ратинов, Г. Н. Гельфман. — М. : Стройиздат, 1971. — 120 с.

14. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении. — Харьков : ПромстройНИИпроект. — М. : Стройиздат, 1990. — 176 с.

15. **Рояк Г. С.** Внутренняя коррозия бетона / Г. С. Рояк. — М. : Изд-во УНИИС. — 2002. — 156 с.

16. **Селяев В. П.** Химическое сопротивление наполненных цементных композитов / В. П. Селяев, В. И. Соломатов, Л. М. Ошкина. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2001. — 152 с.

17. **Селяев В. П.** Химическое сопротивление и долговечность строительных материалов изделий и конструкций : учеб. пособие / В. П. Селяев, Т. А. Низина, В. Н. Уткина. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2003. — 48 с.

18. **Соломатов В. И.** Химическое сопротивление композиционных строительных материалов / В. И. Соломатов, В. П. Селяев. — М. : Стройиздат, 1987. — 264 с.

19. **Соломатов В. И.** Химическое сопротивление материалов / В. И. Соломатов, В. П. Селяев, Ю. А. Соколова. — М. : Изд-во РААСН, 2001. — 274 с.

20. Химическая стойкость композиций на основе эпоксидно-аминоальдегидных композитов / И. Е. Путляев, А. Ф. Тихомирова, Ж. М. Сулейманова, М. А. Харькова // Тр. НИИЖБ. — М. : Стройиздат, 1974. — С. 17—29.

21. **Шестоперов С. В.** Долговечность бетона / С. В. Шестоперов. — М. : Автотрансиздат, 1966. — 500 с.

Поступила 15.09.06.

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ К БИОЛОГИЧЕСКИ АГРЕССИВНЫМ СРЕДАМ

В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов, Е. В. Завалишин, Е. А. Морозов, О. Н. Смирнова

Целью настоящей работы являются экспериментально-теоретическое исследование биологического сопротивления композитов на основе жидкого стекла, обоснование приемов и методов получения биологически стойких материалов для изготовления защитных покрытий и строительных изделий, повышение биостойкости грунтовых оснований, каменных и бетонных ограждающих конструкций зданий и сооружений посредством пропитки их поровой структуры.

При проектировании зданий и сооружений, эксплуатирующихся в условиях воздействия агрессивных сред, большое внимание уделяется выбору строительных материалов и изделий, которые должны быть долговечными в конкретных условиях эксплуатации. Для изготовления материалов и конструкций зданий, работающих в агрессивных средах, как отечественными, так и зарубежными специалистами рекомендуется применение полимербетонов на основе различных связующих. Однако полимербетоны являются относительно дорогостоящими материалами. В этом отношении перспективны силикатные и полимерсиликатные бетоны, стоимость которых в 2—3 раза ниже стоимости полимербетонов. Строительная практика показывает, что композиционные материалы на основе жидкого стекла имеют достаточно высокую долговечность при эксплуатации в кислотосодержащих средах. Это позволяет использовать их для изготовления антикоррозионных покрытий, укладки кислотостойких полов и т. д. [1; 15]. Композиции на основе жидкого стекла находят также применение при укреплении грунтов, пропитке поверхностных слоев бетонных и железобетонных изделий [1; 12].

В последнее время актуальны вопросы повышения биологической стойкости различных материалов. Анализ работ отечественных и зарубежных авторов показывает, что биоразрушениям подвержены практически все материалы: металлические, каменные, бетонные и т. д. [2; 3; 4]. Биоразрушения вызываются как макроорганизмами — животными, птицами, насекомыми, так и микроорганизмами — бактериями, грибами, актиномицетами. Данные литературы свидетельствуют, что более 40 % общего объема биоразрушений связано с деятельностью микроорганизмов. При этом наибольшее повреждающее воздействие на промышленные и строительные материалы оказывают микроскопические грибы. Их высокая деструктирующая активность обусловлена способностью адаптироваться к материалам различной химической природы, что связано прежде всего с наличием у них хорошо развитого мощного и мобильного ферментного комплекса.

Применение композиционных материалов на основе жидкого стекла в зданиях и сооружениях, где возможны процессы биоразрушения, требует проведения комплексных исследований процессов взаимодействия композитов с биологическими средами.

Известно, что при воздействии микроорганизмов разрушительные процессы, как правило, начинаются с поверхности материала. Поэтому важное практическое значение для количественной оценки биодеградации композитов имеют исследования, направленные на обоснование модели биодеградации, установление границы фронта продвижения агрессивной среды и выявление изменений физико-механических свойств на поверхности материала.

С целью установления модели биодеградации и определения зависимостей изменения физико-механических свойств композитов на основе жидкого стекла от действия биологически агрессивной среды выполнены экспериментальные исследования. В качес-

Таблица 1

Результаты эксперимента по испытанию композитов в среде гриба Aspergillus niger

№ состава	Состав композита	Оценка роста грибов, баллы	Характеристика по ГОСТ
1	Жидкое стекло — 100; кремнефтористый натрий — 20; мел — 400	4	Негрибостоек
2	Жидкое стекло — 100; кремнефтористый натрий — 20; кварцевый песок крупностью 0,14—0,315 мм — 150	4	Негрибостоек
3	Жидкое стекло — 100; кремнефтористый натрий — 15; мел — 400	4	Негрибостоек
4	Жидкое стекло — 100; кремнефтористый натрий — 20; древесные опилки — 20	5	Негрибостоек
5	Жидкое стекло — 100; кремнефтористый натрий — 20; диатомит — 40	4	Негрибостоек

тве вяжущего при изготовлении композитов использовалось натриевое жидкое стекло с силикатным модулем М 2,88 и плотностью 1,42 г / см^3 Отвердителем служил кремнефтористый натрий. Рассматривались составы с различными наполнителями, в качестве которых применялись кварцевый песок, диатомит, мел, древесные опилки. Образцы для испытаний были изготовлены в виде кубиков с размером ребра 2 см. В качестве агрессивной использовалась среда гриба *Aspergillus niger*. Образцы в среде выдерживали в течение 90 сут, затем извлекали и послойно определяли физико-механические характеристики. При выполнении исследований в качестве контролируемых характеристик рассматривалось изменение массосодержания образцов, а также показателей модуля деформации, несущей способности и твердости по сечению образцов. Результаты исследований приведены в табл. 1 и на рис. 1—4.

Анализ графиков позволяет рассматривать биодеградацию по поперечному сечению изделий с использованием нелинейной модели в виде степенной функции. Тогда деградационная функция, выраженная через начальный модуль деформации и структурный показатель материала n, будет иметь вид [3; 13]:

$$D(N) = \left(1 + \frac{E_s}{E_0}\right)\frac{n}{n+1}. \qquad (1)$$

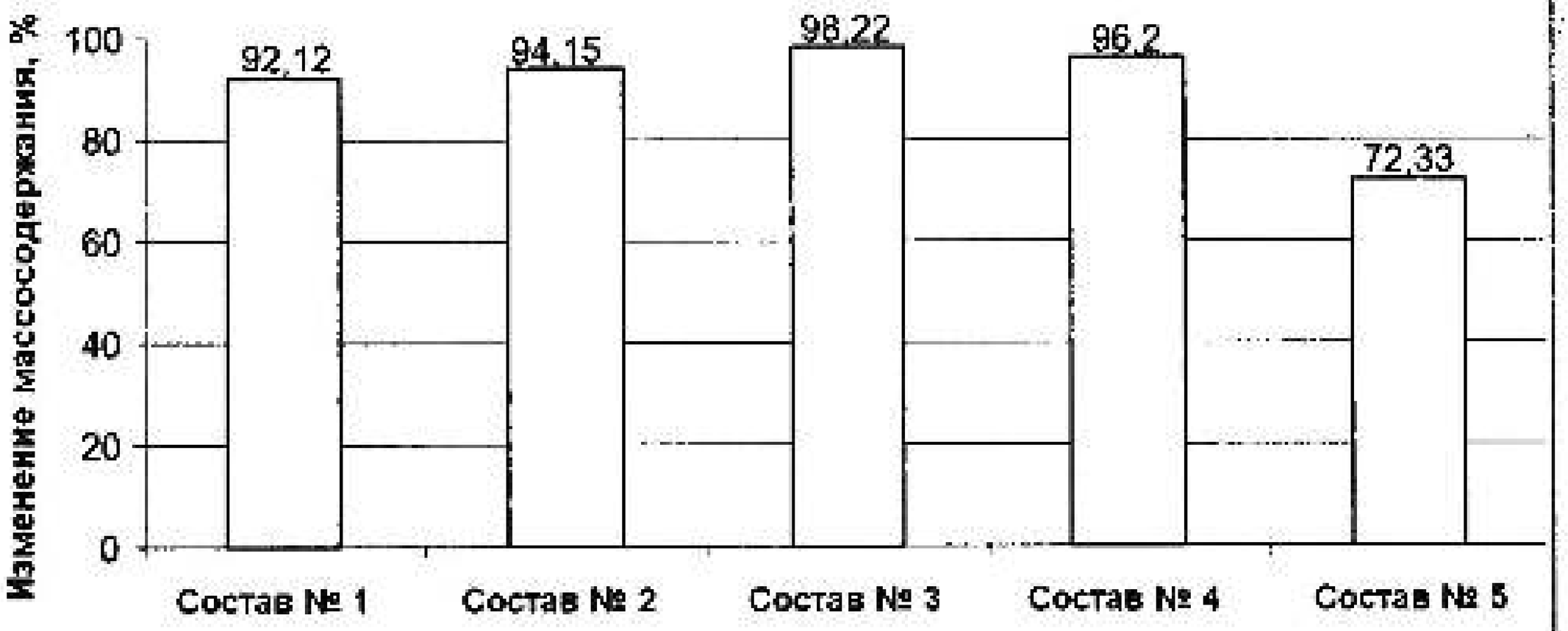


Рисунок 1

Изменение массосодержания композитов на основе жидкого стекла после выдерживания в среде гриба Aspergillus niger (составы см. по табл. 1)

где Ea — модуль деформации при глубине проникновения агрессивной среды на величину a; E_0 — начальный модуль деформации.

$$n = \frac{D(N)}{1 + D(E) - D(N)}; \qquad (2)$$

$$D(E) = \frac{E_c}{E_0}$$



Рисунок 2

Зависимость изменения модуля деформации композитов на основе жидкого стекла по сечениям от их видового состава и выдерживания в среде гриба Aspergillus niger:
□ Состав № 1, Δ Состав № 2, ◊ Состав № 3, ○ Состав № 4, × Состав № 5



Рисунок 3

Зависимость изменения несущей способности композитов на основе жидкого стекла по сечениям от их видового состава и выдерживания в среде гриба Aspergillus niger:
□ Состав № 1, Δ Состав № 2, ◊ Состав № 3, ○ Состав № 4, × Состав № 5

Показатель механизма деградации n определяется по результатам экспериментальных данных, после чего проводится анализ деградации материала под действием агрессивной среды. Этот показатель может использоваться для прогнозирования поведения элементов

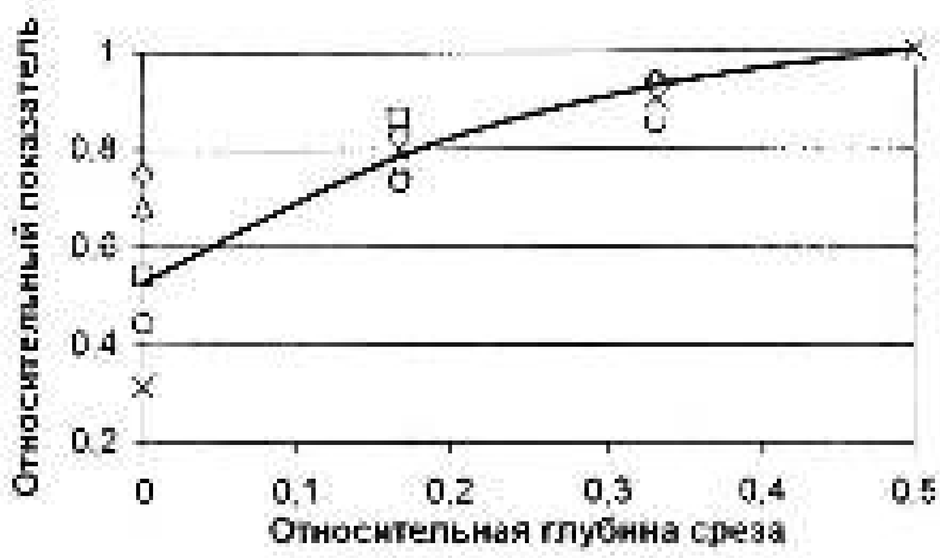


Рисунок 4

Зависимость изменения твердости композитов на основе жидкого стекла по сечениям от их видового состава и выдерживания в среде гриба Aspergillus niger: *□ Состав № 1, Δ Состав № 2, ◊ Состав № 3, ○ Состав № 4, × Состав № 5*

любых размеров и оценки срока службы конструкции.

Одним из основных показателей, неблагоприятно влияющих на биологическую стойкость материалов, является их пористость. Благодаря наличию большого количества открытых пор микроскопические грибы могут беспрепятственно проникать в композиты на достаточно большую глубину [8; 9]. Следовательно, уменьшая пористость, можно повысить долговечность композитов на основе жидкого стекла при воздействии биологических сред. Уплотнение структуры композитов на основе жидкого стекла возможно путем введения в их состав различных органических добавок, в частности, фурилового спирта в количестве 3—5 % от массы жидкого стекла. Причем при взаимодействии с кислотами (в нашем случае с кремниевой) органические добавки полимеризуются, что приводит к еще большему уплотнению жидкостекольных композитов.

Создание плотных жидкостекольных композитов достигается за счет оптимизации состава с учетом различных структурообразующих факторов. Значительное влияние на их свойства оказывает отвердитель, в качестве которого могут применяться различные соединения. Согласно литературным данным наиболее плотная структура композита получается при перемешивании 15—18 мас. ч. кремнефтористого натрия и 100 мас. ч. жидкого стекла [11]. При взаимодействии с жидким стеклом кремнефтористый натрий выде-

Таблица 2

Влияние кремнефтористого натрия на биостойкость жидкостекольных композитов

Количество отвердителя, мас. ч.	Оценка роста грибов, баллы		Характеристика по ГОСТ
	метод 1	метод 3	
15	0	2	Грибостоек
16	0	2	Грибостоек
17	0	2	Грибостоек
18	0	2	Грибостоек
19	0	1	Фунгицидеи
20	0	0; $R = 5$	Фунгицидеи

ляет при разложении кремниевую кислоту, которая заметно уплотняет структуру композита, понижает пористость. При выделении же кислоты изменяется pH среды. Известно, что микроорганизмы развиваются только при определенных значениях pH среды. Очевидно, что благодаря изменению ее кислотности можно также повысить биостойкость жидкостекольных композитов. Этого можно добиться и путем введения добавок, имеющих фунгицидные свойства. Такими добавками могут являться соли тяжелых металлов (медный купорос, перманганат калия и др.). В этом случае выделяющийся при взаимодействии с жидким стеклом и кремнефтористым натрием катион металла будет отрицательно влиять на жизнедеятельность микроорганизмов.

Повышения долговечности готовых пористых материалов и изделий можно достигнуть путем пропитки их жидкостекольными композициями, отверждаемыми непосредственно в теле материала. После пропитки материалов и изделий жидкостекольными композициями доступ микроорганизмов в глубину структуры будет закрыт вследствие заполненности пор пропиточным составом. Использование для пропитки фунгицидных составов, наряду с повышением плотности структуры материалов, позволяет повысить биологическое сопротивление существующих и вновь возводимых зданий и сооружений.

В отечественной и зарубежной практике наиболее часто применяемым отвердителем жидкого стекла является кремнефтористый натрий. Его особенность заключается в том, что он не только взаимодействует со щелочью, понижая ее содержание, но и выделяет при разложении кремниевую кислоту, которая заметно уплотняет твердеющую систему, понижая пористость. К тому же он обладает хорошим фунгицидным действием [10].

Известно, что при подкислении среды (уменьшении pH) жизнедеятельность значительного количества видов микроорганизмов прекращается. При выделении кремниевой кислоты среда становится более кислой, что, очевидно, может оказать влияние на рост и размножение микроорганизмов. Из этого можно сделать вывод о том, что биостойкость жидкостекольных композитов можно регулировать с помощью изменения pH среды в зависимости от вида биодеструктора того или иного материала.

Согласно литературным данным, оптимальная концентрация кремнефтористого натрия для получения плотных, водостойких и кислотостойких материалов составляет примерно 15 % от массы жидкого стекла [11]. С целью проверки теоретических предположений о возможности повышения биостойкости жидкостекольных композитов за счет регулирования количественного содержания кремнефтористого натрия проведены исследования составов, в которых его содержание варьировалось в пределах от 15 до 20 мас. ч. на 100 мас. ч. жидкого стекла. Наполнителем служил кварцевый песок с удельной поверхностью 600 см^2 / г. Количество наполнителя принималось во всех составах 150 мас. ч. на 100 мас. ч. вяжущего. Образцы изготавливались в виде балочек размером 1 × 1 × 3 см. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Приведенные данные свидетельствуют, что при увеличении содержания в составах композитов кремнефтористого натрия до 19 мас. ч. на 100 мас. ч. вяжущего жидкостекольные материалы становятся фунгицидными.

Таблица 3

Влияние вида и количества модифицирующей добавки на биостойкость жидкостекольных композитов

Количество отвердителя, мас. ч.	Вид добавки	Оценка роста грибов, баллы		Характеристика по ГОСТ
		метод 1	метод 3	
5	Алюминиевая пудра	0	0; $R = 4$	Фунгицидеи
5	Сульфат меди	0	0; $R = 15$	Фунгицидеи
5	Поташ	0	4	Грибостоек
5	Перманганат калия	0	0; $R = 8$	Фунгицидеи
5	Цинковые белила	3	4	Негрибостоек
5	ПВАЭ	3	3	Негрибостоек
5	Аммиачная селитра	0	3	Грибостоек

Оценка биологического сопротивления композитов на основе жидкого стекла показала, что некоторые составы являются грибостойкими, но не фунгицидными. Поэтому в зданиях с биологически активными средами строительные материалы и изделия должны быть защищены от биоповреждений. Отечественными и зарубежными исследователями разработаны различные методы защиты. Они могут быть временно применяемыми и постоянно действующими [3; 5; 6]. К первым относятся некоторые профилактические мероприятия, например проветривание помещений; физические методы обеззараживания, например различные облучения; биотехнологические, например использование неопасных микроорганизмов для подавления опасных. Временные методы борьбы с биоповреждениями могут применяться периодически, при повышенной опасности возникновения биокоррозии (при транспортировке или хранении при повышенной влажности в осенний или весенний сезон, при сезонных колебаниях в размножении, развитии и миграции живых организмов). К постоянно действующим методам защиты от биоповреждений относятся конструктивные и некоторые профилактические мероприятия, например поддержание безопасного температурно-влажностного режима; химические методы, например внесение в состав материала методом пропитки или непосредственного смешивания фунгицидных добавок, а также обеззараживание фунгицидами технологических сред, восприимчивых к возникновению и размножению микроорганизмов.

С целью экспериментального исследования влияния фунгицидных добавок на биосопротивление композитов на основе жидкого стекла рассмотрены различные добавки неорганической природы. Нами установлено, что введение в состав жидкостекольных композитов сульфата меди, перманганата калия и алюминиевой пудры делает их фунгицидными. В качестве наполнителя в составах применялся кварцевый песок в количестве 150 мас. ч. на 100 мас. ч. жидкого стекла. Количество отвердителя было постоянным во всех составах — 15 мас. ч. на 100 мас. ч. вяжущего. Результаты исследований приведены в табл. 3.

Анализ данных табл. 3 подтверждает тот факт, что введение в композиты модифицирующих добавок, содержащих соли тяжелых металлов, позволяет получать фунгицидные составы. В то же время поливинилацетатная эмульсия и цинковые белила (5 мас. ч. на 100 мас. ч. жидкого стекла) не повышают биологическую стойкость жидкостекольных композитов.

Многолетние исследования в области биологической стойкости композиционных строительных материалов свидетельствуют о том, что из большого многообразия микроскопических организмов наибольшее разрушающее воздействие на промышленные и строительные материалы, изделия и конструкции оказывают мицелиальные грибы *Aspergillus niger* и *Penicillium chrysogenum*. Исходя из этого нами была проведена оценка биостойкости композитов на основе жидкого стекла в условиях воздействия данных видов грибов.

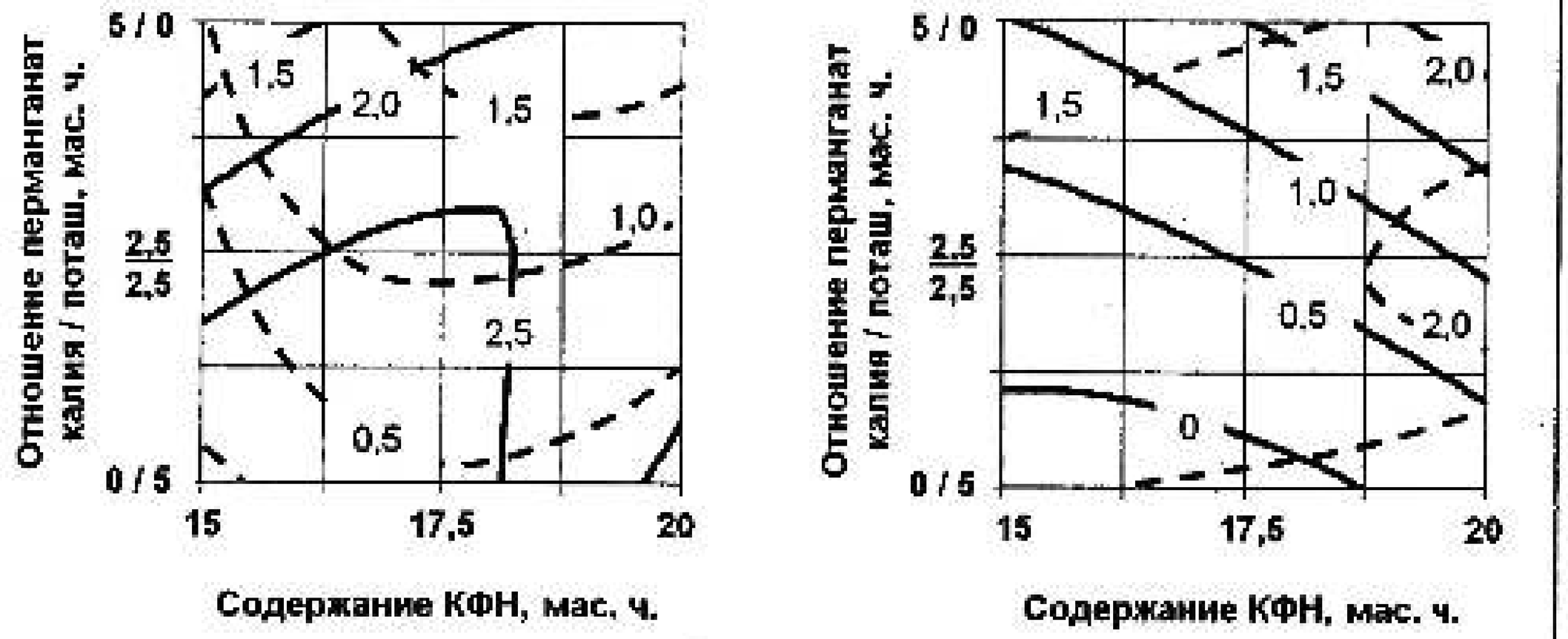


Рисунок 5

Зависимость изменения обрастаемости при испытании по методу 3 (в баллах) композитов на основе жидкого стекла, выдержанных в средах грибов Aspergillus niger (——) и Penicillium chrysogenum (— —) от содержания компонентов

Подбор фунгицидных составов осуществлялся с применением методов математического планирования экспериментов. Варьируемыми факторами были содержание кремнефтористого натрия и отношение медный купорос / поташ и перманганат калия / поташ. Результаты исследований приведены на рис. 5.

Как видно из графиков, композиты на основе жидкого стекла с добавкой медного купороса и поташа фунгициды при действии гриба *Penicillium chrysogenum*, когда содержание данных добавок составляет 2,5 / 2,5 мас. ч. на 20 мас. ч. кремнефтористого натрия и 100 мас. ч. жидкого стекла. Композиты с добавкой перманганата калия и поташа фунгицидны при действии гриба *Aspergillus niger* при их содержании в пределах от 5 / 0 мас. ч. на 15 мас. ч. отвердителя и 100 мас. ч. вяжущего до 0 / 5 мас. ч. на 20 мас. ч. отвердителя и 100 мас. ч. вяжущего.

Пропитка грунтов с целью их закрепления является широко применяемым технологическим процессом в области строительного производства. Среди различных способов закрепления грунтов значительное место занимают методы силикатизации. С целью исследования поведения грунтов с пропитанной структурой и без пропитки были проведены исследования образцов в стандартной биологической среде. Изучался песок фракций 0,14—0,315 и 0,63—1,25 мм. В качестве пропиточной композиции применяли смесь жидкого стекла с кремнефтористым натрием. Количество кремнефтористого натрия было принято равным 20 мас. ч. на 100 мас. ч. вяжущего. Песчаный грунт пофракционно закладывался в формы размером 1 × 1 × 3 см, затем осуществлялась пропитка. Далее получившиеся образцы испытывали в средах микроскопических грибов. Результаты испытаний приведены в табл. 4.

Таблица 4

Влияние пропитки песчаных грунтов различного зернового состава на биостойкость

Вид грунта	Оценка роста грибов, баллы		Характеристика по ГОСТ
	метод 1	метод 3	
Песок крупностью 0,63—1,25 мм	0	0; $R = 3$	Фунгициден
Песок крупностью 0,14—0,32 мм	0	0; $R = 15$	Фунгициден

Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод: песчаные грунты становятся фунгицидными при пропитке жидкостекольными композициями.

Стойкость цементных композитов в условиях воздействия биологических сред во многом определяется пористостью материалов. При ее увеличении повышается проницаемость строительных материалов для микроорганизмов. В результате снижается прочность композитов [3]. Факт уменьшения их прочности с повышением или понижением содержания воды по сравнению с оптимальным уровнем объясняется увеличением площади поражаемой поверхности материала продуктами метаболизма грибов у более пористых материалов. Для улучшения физико-механических свойств и повышения долговечности материалов и изделий используется пропитка их поровой структуры различными вяжущими [1]. Эффективность пропитки может повышаться при одновременном улучшении биозащитных свойств строительных изделий.

С целью определения биостойкости цементно-песчаных растворов, пропитанных жидкостекольными композициями, нами были проведены исследования, в которых сравнивались два вида составов: цементно-песчаный раствор, пропитанный жидкостекольной композицией, и непропитанный. Образцы цементно-песчаного раствора выполнялись в виде балочек размером 1 × 1 × 3 см. Пропитка осуществлялась без применения давления. Образцы закладывались в емкость с пропиточной смесью и выдерживались в течение 1 ч, после чего испытывались в средах микроскопических грибов. Результаты испытаний образцов приведены в табл. 5.

Из результатов, представленных в таблице, видно, что цементно-песчаные композиты после пропитки становятся фунгицидными.

Структура строительных материалов и изделий, изготовленных путем автоклавной обработки или обжига, складывается уже в процессе приготовления и в дальнейшем существенно не изменяется. При этом в готовых изделиях и конструкциях остается множество пор (до 26—30 %) [1]. Это обусловливает понижение некоторых показателей, в частности долговечности и биостойкости материалов. Радикальным способом уменьшения пористости, улучшения структуры, физико-механических показателей, повышения долговечности и биостойкости является пропитка готовых изделий жидкостекольными композициями с последующей их полимеризацией в теле материала. В этом случае его характеристики определяются свойствами как исходного материала, так и пропиточного состава.

С целью изучения биостойкости кирпичных ограждающих конструкций был проведен эксперимент, в котором сравнивались два вида материалов: кирпич глиняный обыкновенный и кирпич силикатный, не пропитанные жидкостекольной композицией, и пропитанные. Для проведения такого эксперимента нами были изготовлены образцы размером 1 × 1 × 3 см. Образцы погружались в жидкостекольный состав и пропитывались без применения давления в течение 1 ч. Далее пропитанные и контрольные образцы испытывались в средах микроскопических грибов. Результаты испытаний приведены в табл. 6.

Анализируя результаты таблицы, можно сделать вывод о том, что образцы, пропитанные жидкостекольной композицией, становятся грибостойкими.

В современном строительстве широко используют различные виды теплоизоляционных бетонов, которые можно разделить на две большие группы — легкие бетоны на пористых заполнителях и ячеистые. Путем пропитки таких бетонов мономером с последующим

Таблица 5

Биостойкость цементно-песчаного раствора, пропитанного жидкостекольной композицией, и непропитанного

Вид материала	Оценка роста грибов, баллы		Характеристика по ГОСТ
	метод 1	метод 3	
Непропитанный	2	5	Грибостоек
Пропитанный	0	1	Фунгицидеи

Таблица 6

Биостойкость кирпича глиняного обыкновенного и силикатного

Кирпич	Вид материала	Оценка роста грибов, баллы		Характеристика по ГОСТ
		метод 1	метод 3	
Глиняный	Непропитанный	3	5	Негрибостоек
	Пропитанный	0	3	Грибостоек
Силикатный	Непропитанный	3	5	Негрибостоек
	Пропитанный	0	3	Грибостоек

Таблица 7

Биостойкость теплоизоляционных составов на основе газосиликата

Вид материала	Оценка роста грибов, баллы		Характеристика по ГОСТ
	метод 1	метод 3	
Непропитанный	3	5	Негрибостоек
Пропитанный	0	2	Грибостоек

его отверждением в порах можно получить различные виды легких бетонополимеров [1]. Для пропитки теплоизоляционных материалов могут использоваться различные составы: для материалов с крупными порами — более вязкие, для материалов с мелкими порами — составы малой вязкости. Пропитывающий состав может заполнять поры различных размеров или удерживаться только порами определенного размера. В зависимости от структуры материала и вида пропитывающего состава можно получать различные структуры бетонополимеров и, соответственно, влиять на их свойства.

Пропитывающие составы имеют невысокую среднюю плотность, что способствует небольшому увеличению средней плотности материала при заметном изменении свойств, в частности долговечности и непроницаемости. Значительный эффект может быть получен путем поверхностной пропитки пористых материалов, которая защищает последние от различных биологически агрессивных сред.

В данном эксперименте в качестве теплоизоляционного материала использовались образцы на основе газосиликата, которые пропитывались жидкостекольной композицией. Как и в предыдущих экспериментах, образцы готовились в виде балочек размером 1 × 1 × 3 см. Результаты испытаний образцов приведены в табл. 7.

Анализ результатов свидетельствует о том, что пропитка теплоизоляционных образцов на основе газосиликата способствует увеличению их биологической стойкости. Образцы становятся грибостойкими.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Баженов Ю. М.** Бетонополимеры / Ю. М. Баженов. — М. : Стройиздат, 1983. — 472 с.

2. **Билай В. И.** Грибы, вызывающие коррозию / В. И. Билай, Э. З. Коваль // Биологические повреждения строительных и промышленных материалов. — Киев, 1978. — С. 19—21.

3. Биологическое сопротивление материалов / В. И. Соломатов, В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов [и др.]. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2001. — 196 с.

4. Биоповреждения в строительстве / Ф. М. Иванов, С. Н. Горшин, Дж. Уайт [и др.] ; под ред. Ф. М. Иванова, С. Н. Горшина. — М. : Стройиздат, 1984. — 320 с.

5. Биоповреждения : учеб. пособие для биолог. спец. вузов / под ред. В. Ф. Ильичева. — М. : Высш. школа, 1987. — 352 с.

6. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений : справ. : в 2 т. / под ред. А. А. Герасименко. — М. : Машиностроение, 1987.

7. Защита строительных конструкций и технологического оборудования от коррозии : справ. строителя / под ред. А. М. Орлова. — М. : Стройиздат, 1988. — 256 с.

8. Инфицирование капиллярно-пористых материалов микроорганизмами // А. М. Рожанская, В. В. Гончаров, Т. В. Теплицкая, Е. И. Андреюк // Докл. АН СССР. — 1988. — Т. 12. — С. 60—62.

9. **Кашевская И. Г.** Биологическое повреждение промышленных материалов / И. Г. Кашевская. — Л. : Наука, 1984. — 230 с.

10. **Корнеев В. И.** Жидкое и растворимое стекло / В. И. Корнеев, В. В. Данилов. — СПб. : Стройиздат, 1996. — 216 с.

11. **Патуроев В. В.** Мастики, полимербетоны, полимерсиликаты / В. В. Патуроев, И. Е. Путляев. — М. : Стройиздат, 1975. — 223 с.

12. **Ржаницын Б. А.** Химическое закрепление грунтов в строительстве / Б. А. Ржаницын. — М. : Стройиздат, 1986. — 264 с.

13. **Соломатов В. И.** Химическое сопротивление композиционных строительных материалов / В. И. Соломатов, В. П. Селяев. — М. : Стройиздат, 1987. — 264 с.

14. **Соломатов В. И.** Строительные биотехнологии и биокомпозиты / В. И. Соломатов, В. Д. Черкасов, В. Т. Ерофеев. — М. : Изд-во МИИТ, 1998. — 166 с.

15. **Субботкин М. И.** Кислотоупорные бетоны и растворы / М. И. Субботкин, Ю. С. Курицына. М. : Стройиздат, 1967.

Поступила 16.09.08.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ИНТЕНСИВНОСТИ КОРРОЗИИ СО СТРУКТУРОЙ И ВЛАЖНОСТЬЮ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА БЕТОНА

П. И. Новичков

В работе предложено дифференцировать общий поток углекислого газа, взаимодействующего с бетоном, на диффузионную и эффузионную составляющие. Проанализирован вклад каждого из этих потоков в общую массу диффундирующего углекислого газа в зависимости от влажности. Показано, что наибольшая степень карбонизации происходит при относительной влажности поровой структуры бетона, равной 50 %.

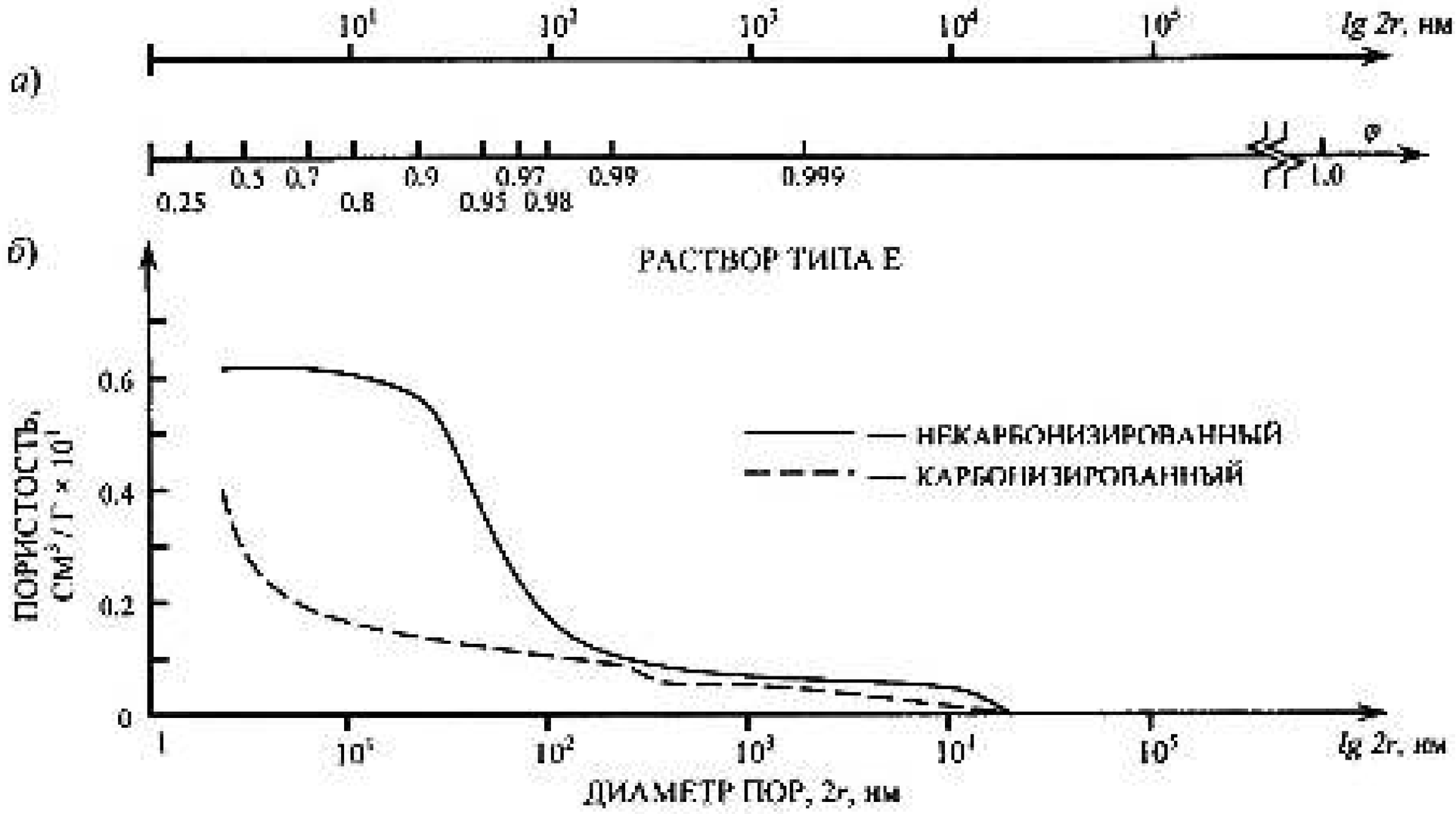
Количественный анализ показывает, что интенсивность карбонизации бетона зависит от дифференциального распределения пор по размерам и от влажности порового пространства бетона. При относительной влажности бетона $\varphi \leq 0{,}25$, а также при $\varphi \geq 0{,}99$ коррозия бетона прекращается. На отрезке относительной влажности $0{,}25 < \varphi < 0{,}99$ наибольшая интенсивность карбонизации будет при $\varphi = 0{,}5$.

Интенсивность взаимодействия кислых газов с щелочными составляющими цементного камня, определяющая кинетику процесса коррозии бетона, зависит от капиллярно-пористой структуры как цементного камня, так и бетона в целом. Кроме того, на скорость протекания коррозионных процессов влияет влажностное состояние бетона. Качественная сторона влияния структуры и влажности отмечена во многих работах [1; 2; 5; 7]. Однако количественные значения взаимосвязи размеров пор, капилляров, влажности с интенсивностью процессов коррозии недостаточно систематизированы. В данной работе отражены результаты аналитического анализа процессов взаимодействия бетона с газовыми средами на примере углекислого газа.

Исходя из размеров молекулы воды найдем величину диаметра капилляров, в которых невозможны процессы взаимодействия проникающей кислой среды с щелочными составляющими цементного камня. При диаметре молекулы воды $\delta = 3 \cdot 10^{-8}$ см и при толщине адсорбционно прочносвязанной воды от двух до пяти молекулярных слоев диаметры капилляров геля, в которых невозможны ни процессы переноса массы ни в каком агрегатном состоянии, ни процессы взаимодействия внешней среды с составляющими цементного камня, будут иметь величину $2r = (2{,}0-5{,}0) \cdot 2 \cdot 3 \cdot 10^{-8}$ см $= (1{,}2-3{,}0) \cdot 10^{-7}$ см $=$ 1,2—3,0 нм.

Капилляры с диаметром, равным 1,2 нм, соответствуют взаимодействию воды с химически инертными системами, а капилляры больших размеров характерны для вяжущих материалов, насыщенных влагой с повышенной концентрацией электролитов. Это подтверждается кривой распределения пор в растворе, представленной на рис., *б*. Минимальный диаметр пор, зафиксированный экспериментально в растворе, соответствует 3 нм. Для химически инертных материалов процессы конденсации влаги и сушка в капиллярах такого размера, $2r = 1{,}2$ нм, возможны лишь при относительной влажности воздуха $\varphi = 25$ % и более. Для систем, где имеется концентрация электролитов во влаге, размеры капилляров, в которых возможны процессы конденсации и сушки, равны 3 нм и более. Относительная влажность воздуха, соответствующая конденсации пара в капиллярах такого размера, равна $\varphi = 50$ % и более.

На основании приведенного анализа можно сделать вывод, что процессы коррозии в бетоне при гигрометрическом равновесии его с окружающей газовой средой могут идти лишь в том случае, если относительная влажность воздушной среды будет равна или более 40—50 %. При подобных условиях реакция взаимодействия щелочных составляющих цементного камня с кислыми газами возможна только в капиллярах диаметром более 3 нм. Это нижние пределы по плотности капил-



Рисунок

Зависимость от радиуса капилляров: а) относительного давления воды, при котором происходит полное смачивание капилляра радиуса r; б) распределения пор в некарбонизированном и в карбонизированном виде

лярно-пористой структуры бетона и его гигрометрического равновесного состояния с окружающей воздушной средой, по превышении которых начинается процесс коррозии бетона.

Верхний предел размера капилляров, при превышении которого практически прекращаются химические реакции между щелочными составляющими цементного камня и диффундирующей газовой средой, определяется относительным давлением водяного пара над мениском воды, при котором происходит полное смачивание или полное заполнение ствола капилляра конденсированной влагой. Для относительной влажности $\varphi = 99$ % радиус такого капилляра не превышает размера $r = 1 \quad 10^{-5}$ см. Для капилляров с радиусом $r > 1 \cdot 10^{-5}$ см давление насыщенного пара над мениском капилляра практически не отличается от давления насыщенного пара над плоской поверхностью с точностью до 1 %. Если же радиус сквозного капилляра больше $1 \cdot 10^{-5}$ см, то этот макрокапилляр не может быть заполнен водой путем сорбции пара. Такой капилляр может быть заполнен водой только при непосредственном соприкосновении с ней и отдает ее в атмосфере насыщенного пара (при $\varphi \approx 1$). Таким образом, во всех порах геля размером более 3 нм и во всех капиллярах средней величины (с размером 10—50 нм) возможны химические реакции между бетоном и газовой средой. Однако интенсивность кинетики протекания процесса зависит от ряда факторов, среди которых наиболее значимым считают скорость поступления активной составляющей внешней среды к фронту реакции. В установившемся режиме замедления скорости взаимодействия активной составляющей внешней среды с щелочными составляющими цементного камня многие [1; 2; 5] связывают с диффузионным ограничением, суть которого заключается в том, что физические и химические процессы в пленке влаги на поверхности пор будут протекать с высокой скоростью, а поступление углекислого газа, например при карбонизации, ограничена.

Чтобы установить вид ограничения, следует выяснить, как зависит скорость переноса активной составляющей внешней газовой среды от размеров пор и капилляров. Если величина отношения средней длины свободного пробега молекулы l к радиусу капилляра r удовлетворяет соотношению $l / r << 1$, то перенос вещества в газообразном состоянии внутри капилляра можно рассматривать макроскопическим образом как молярное или гидродинамическое движение в соответствии

с законами диффузии. В аналитической теории диффузии скорость переноса массы принимается равной бесконечности. Величина же изменения концентрации определяется законом диффузии Фика.

Такое рассмотрение становится неприемлемым, если средняя длина свободного пробега сравнима с радиусом капилляра или меньше его, $l \leq r \approx 1 \cdot 10^{-3}$ см. В этом случае закономерности переноса будут обусловлены молекулярным режимом, для которого закон диффузии Фика выполняться не будет. При наличии перепада давления молекулы газа в таких капиллярах движутся не отдельными слоями, как при диффузии, а независимо друг от друга, постоянно сталкиваясь со стенками капилляра. При полной аккомодации, характеризуемой состоянием, когда рассеиваемый от поверхности капилляра газ приходит в тепловое равновесие с телом, молекулы газа будут проходить через капилляр независимо одна от другой, образуя как бы молекулярный пучок, в котором каждая молекула движется с той скоростью, какую она имела при входе в капилляр [6]. Такое движение называется эффузией. При этом число молекул, выходящих из капилляра в единицу времени, равно числу соударений с поверхностью стенки, равной площади отверстия капилляра.

Скалярная величина плотности диффузионного потока j_{diff}, равная массе m_{diff} молекул газа, прошедших через единицу площади изоконцентрационной поверхности в единицу времени, определяется первым законом Фика:

$$j_{diff} = D \frac{dc}{dx}. \qquad (1)$$

Статистический расчет переноса массы m_{eff} молекул газа эффузией, протекающих в единицу времени через единицу площади капилляра, определяемого как скалярная величина плотности эффузионного потока вещества j_{eff}, приводит к соотношению [4]:

$$j_{eff} = \frac{8}{3}\sqrt{\frac{M}{2\pi RT}} r \frac{dP}{dx}, \qquad (2)$$

где M — молекулярная масса газа; r — радиус капилляра; $\frac{dP}{dx}$ — перепад давления dP на концах капилляра длиной dx.

Для сравнения скоростей течения газа, определяемых диффузией (1) и эффузией (2), необходимы движущие силы, вызывающие эти процессы, равные градиенту концентрации при диффузии $\frac{dc}{dx}$ и градиенту давления $\frac{dP}{dx}$ при эффузии, и имеющие разные размерности (у градиента концентрации размерность равна градиенту плотности — кг / м^3·м; у градиента давления — градиенту давления — МПа / м), привести к размерности одного вида. Для этого концентрацию c_i i-го газа в газовой смеси в уравнении (1) заменим парциальным давлением P_i активной составляющей газа в газовой смеси, воспользовавшись уравнением Клайперона — Менделеева:

$$P_i = \frac{m_i}{V} \frac{RT}{M_i}, \qquad (3)$$

где m_i — масса i-го газа в газовой смеси; M_i — его молекулярная масса; V — объем смеси.

Отношение массы m_i i-го газа к объему смеси V есть концентрация c_i данного газа в смеси. В соответствии с этим уравнение (1) примет вид:

$$j_{diff} = D \frac{M}{RT} \frac{dP}{dx}. \qquad (4)$$

Сравнивая формулу (4) с формулой (2) для изотермических условий, видим, что отношение скалярной величины эффузионного потока массы к диффузионной будет равно

$$\frac{j_{eff}}{j_{diff}} = \frac{8}{3}\sqrt{\frac{RT}{2\pi M}} \frac{r}{D}. \qquad (5)$$

Например, при одинаковых значениях градиентов парциального давления, температуры и давления углекислого газа в воздухе коэффициент диффузии углекислого газа в воздухе при температуре 293 К (20 °С) равен $D = 1{,}6 \cdot 10^{-5}$ м^2 / с. В то же время величина $\frac{8}{3}\sqrt{\frac{RT}{2\pi M}} \cdot r$ для углекислого газа равна $2{,}5039 \cdot 10^2\, r$ м^2 / с. Если радиус капилляра принять равным $r = 1 \cdot 10^{-5}$ см (0,1 мкм или 100 нм), то отношение (5) будет равно 1,57, т. е. скорость эффузионного процесса превысит скорость диффузионного переноса в 1,57 раза. Если $r = 1 \cdot 10^{-6}$ см (0,01 мкм, или 10 нм), то скорость эффузионного переноса будет в 6,39 раза меньше скорости диффузионного переноса. При радиусе капилляра $r = 3 \cdot 10^{-7}$ см (0,003 мкм, или 3 нм) скорость эффузионного переноса будет уже в 21,3 раза

меньше по сравнению с диффузионной. Таким образом, поток массы, переносимой путем эффузии через единицу площади поперечного сечения капилляра в единицу времени в порах геля и в капиллярах средней величины, которые по классификации А. В. Лыкова относятся к микрокапиллярам ($r \leq 1 \cdot 10^{-5}$ см), будет в 6—20 раз меньше потока массы, переносимого при тех же условиях через макрокапилляры и крупные поры посредством диффузии.

Роль крупных пор в диффузионном переносе в порах бетона, в частности углекислого газа, нашла подтверждение в следующем опыте [1]: образцы из обычного плотного бетона различного состава изолировали горячей парафино-канифольной мастикой так, что мелкие поры были полностью закрыты, а поры размером 0,1—0,5 мм и более оставались не заполненными мастикой. Оказалось, что карбонизация бетона под таким покрытием протекала почти так же быстро, как у неизолированных граней. При тщательной изоляции поверхности бетона карбонизация исключалась полностью. Следовательно, основной объем углекислого газа поступает в бетон через сравнительно небольшое количество крупных пор на поверхности.

Если поры и капилляры будут полностью заполнены конденсированной влагой, то перенос активной составляющей внешней газовой среды, например углекислого газа, в них может происходить лишь посредством диффузии в растворенном виде. При парциальном давлении углекислого газа в атмосферном воздухе, равном 0,03 %, и при растворимости воздуха в воде, равной 29,18 см³ / л, концентрация углекислого газа в конденсированной влаге бетона при плотности сухого воздуха при температуре 293 К (20 °С), равной 1,2046 г / л, будет иметь величину, равную $c_1 = 3 \cdot 10^{-4} \times 29{,}18 \cdot 10^{-3} \times 1{,}2046 \cdot 10^{-3} \times 44 / 29 = 1{,}6 \cdot 10^{-6}$ г / см³. Концентрация углекислого газа на единицу объема воздушного пространства при тех же условиях составит $c = 3 \cdot 10^{-4} \times 1{,}2046 \cdot 10^{-3} \times 44 / 29 = 5{,}483 \cdot 10^{-7}$ г / см³. Сравнивая эти величины, получаем, что концентрация активной составляющей внешней газовой среды, приходящейся на единицу объема порового пространства бетона, при заполнении пор конденсированной влагой будет в $5{,}483 \cdot 10^{-7} / (1{,}6 \cdot 10^{-6}) = 34{,}27$ раза меньше по сравнению с концентрацией в порах, не заполненных влагой. При переносе растворенной активной составляющей газовой среды в заполненных конденсированной влагой порах будет происходить по закону диффузии жидкости в жидкости (для растворенного углекислого газа — в виде ионов диссоциированной угольной кислоты). Коэффициент диффузии для процессов переноса растворенного вещества в воде при температуре 293 К (20 °С) находится в пределах $1 \cdot 10^{-9}$—$1{,}4 \cdot 10^{-9}$ м² / с, что в $1{,}6 \cdot 10^{-5} / (1{,}4 \cdot 10^{-9}) = 1 \cdot 10^{-4}$ раза меньше коэффициента диффузии углекислого газа в газовой среде. С учетом изложенного плотность диффузионного потока активной составляющей внешней среды (при карбонизации бетона это плотность углекислого газа) при переносе в порах, заполненных конденсированной влагой, j_{diff}, будет в $3{,}5 \cdot 10^5$ раза меньше плотности потока j_{diff} углекислого газа, переносимого в порах, свободных от конденсированной влаги. Из этого следует, что при полном смачивании сорбционной влагой при контакте бетона с водой процесс карбонизации бетона практически прекращается.

На основании анализа данных, приведенных в [4] (рис., *а*), показано, при каком относительном давлении водяного пара φ над мениском воды происходит полное смачивание капилляров радиуса r. Капилляры с радиусом $r = 1{,}56$ нм полностью заполняются конденсированной влагой при $\varphi = 0{,}5$. Размер $r = 1{,}56$ нм соответствует пяти молекулярным слоям воды, которая, по данным [8], относится к адсорбционно прочносвязанной воде в силикатных системах с высокой концентрацией электролитов. При $\varphi = 0{,}25$ толщина адсорбционно прочносвязанной пленки воды составляет 0,78 нм, что соответствует приблизительно двум молекулярным слоям воды. В данной пленке, относящейся к двойному электрическому слою [8], не растворяются электролиты, следовательно, не происходят и обменные реакции. Это нижний предел относительного давления водяного пара, при котором отсутствуют реакции взаимодействия щелочных составляющих цементного камня с активными составляющими внешней среды.

В диапазоне относительного давления водяного пара в капиллярах от $\varphi = 0{,}5$ возможны обменные реакции между щелочными составляющими цементного камня и внешней средой, а их интенсивность будет опреде-

ляться концентрацией электролитов в пленке конденсированной влаги. С увеличением концентрации электролитов интенсивность химических актов взаимодействия будет падать вследствие увеличения пленки прочносвязанной влаги. Концентрацию ионов гидроксида кальция в воде при данной температуре можно считать постоянной, так как гидроксид кальция образует насыщенный раствор при ограниченной его растворимости [3; 6]. Например, при 20 °С равновесная концентрация CaO в растворе равна 1,23 г / л, и она падает до 0,58 г / л при повышении температуры до 100 °С. Следовательно, интенсивность актов взаимодействия будет определяться концентрацией углекислого газа. Так как толщина пленки влаги на стенках капилляров с повышением относительного давления водяного пара увеличивается, при сохранении концентрации углекислого газа в воздушной среде концентрация ионов угольной кислоты в пленочной влаге на стенках капилляров будет уменьшаться. Уменьшение же концентрации ионов ведет к уменьшению толщины адсорбционно прочносвязанной пленки влаги и к увеличению вероятности совершения актов химического взаимодействия. Следовательно, при увеличении относительной влажности газовой среды в поровом пространстве с $\varphi = 0{,}25$ до $\varphi = 0{,}5$ интенсивность процесса карбонизации цементного камня бетона будет увеличиваться начиная с нуля при $\varphi = 0{,}25$.

С другой стороны, при относительном давлении водяного пара в поровом пространстве бетона $\varphi = 0{,}5$ полное смачивание наблюдается в капиллярах, радиус которых соизмерим с толщиной адсорбционно прочносвязанной конденсированной влаги, а поры и капилляры больших размеров будут свободны от нее. Перенос углекислого газа при этом в порах и капиллярах всего диапазона размеров, характерных для бетонов, будет происходить лишь в газовой среде в виде диффузии и эффузии. Учитывая, что объем порового пространства, свободного от конденсированной влаги, при данной относительной влажности $\varphi = 0{,}5$ является максимальным для всего диапазона гигрометрического состояния бетона по влажности с $\varphi \geq 0{,}5$, то плотность потоков углекислого газа, переносимых диффузией и эффузией, будет также максимальной при $\varphi = 0{,}5$.

Поток углекислого газа при данной относительной влажности увеличивается и за счет возникновения явления теплового скольжения молекул газа в капиллярах [4], размер которых $r \geq l$, т. е. в макрокапиллярах, основных артериях, снабжающих внутренний объем бетона внешней средой. Сущность этого явления заключается в следующем. При реакции карбонизации на одну молекулу прореагировавшего гидроксида кальция выделяется одна молекула воды. Лишняя, выделяемая в процессе реакции, вода при сохранении относительной равновесной влажности бетона с внешней средой испаряется в более крупных капиллярах. В местах испарения температура понижается за счет эндотермии процесса испарения, создавая тем самым градиент температуры, направленной от поверхности в глубь бетона. Вследствие явления теплового скольжения водяной пар как наиболее легкая составляющая воздушной смеси будет перемещаться вдоль стенок капилляров в направлении против потока тепла, т. е. из глубины бетона наружу, в результате чего возникнет разность давлений. Она вызывает движение тяжелого газа (диоксида углерода) вдоль оси капилляра по направлению градиента температуры, увеличивая тем самым интенсивность массообмена им.

Скорость теплового скольжения V_c в первом приближении прямо пропорциональна температурному градиенту dT вдоль стенки капилляра [4]:

$$V_c = K_c \frac{dT}{dx}$$

где K_c — коэффициент теплового скольжения, величина которого равна:

$$K_c = \frac{3}{2} \frac{lR}{MV_m} = \frac{3}{2} \frac{D}{T},$$

где D — коэффициент диффузии газа; $V_m = 48 \times 10$ м / с — средняя скорость движения молекул.

Скалярная величина плотности потока газа, переносимого за счет явления теплового скольжения, будет равна:

$$j_c = \rho V_c,$$

где ρ — плотность переносимого газа.

Например, при градиенте температуры $\frac{dT}{dx} = 0{,}1$ град / см, коэффициенте диффузии углекислого газа в газовой среде $D = 1{,}6 \times$

$\times 10^{-5}$ м^2 / с и температуре в 293 К (20 °С) скорость теплового скольжения равна:

$$V_c = K_c \frac{dt}{dx} = \frac{3}{2}\frac{1{,}6\times10^{-5}}{293}\times 0{,}1\times10^{2} = 8{,}191\times10^{-7}\ \text{м/с}.$$

Скалярная величина плотности потока углекислого газа, вызванная тепловым скольжением, при его концентрации в воздухе $C = 0{,}03$ % и при плотности, равной 1,98 г / л, составит:

$$j_c = \rho_{co_2} C V_c = 1{,}98\times3\times10^{-3}\times8{,}191\times10^{-7} = 0{,}487\times10^{-4}\ \text{кг / м}^2\text{с}.$$

Скалярная величина плотности потока углекислого газа в макрокапиллярах, определенная как диффузия газа в газе, будет равна:

$$j_{\text{диф}} = D\frac{dC}{dx} = 1{,}6\times10^{-5}\times3\times10^{-7}\times1{,}98 = 9{,}504\times10^{-4}\ \text{кг / м}^2\text{с}.$$

Доля плотности потока, вызванная тепловым скольжением, в общем потоке углекислого газа, переносимого диффузией в макрокапиллярах, составляет (около) 5 % при градиенте температуры $\frac{dT}{dx} = 0{,}1$ град / см.

При увеличении относительной равновесной влажности газовой смеси в поровом пространстве бетона свыше $\varphi = 0{,}5$, во-первых, будет увеличиваться толщина конденсированной пленки влаги на стенках пор и капилляров. При этом возрастет доля микрокапилляров, двойная толщина пленки в которых будет соизмерима с их диаметром, и в них произойдет полное смачивание. Процесс карбонизации в этих капиллярах практически прекратится из-за уменьшения относительной плотности потока $\frac{j_c}{j_{\text{диф}}}$ углекислого газа на 5—6 порядков. В связи с этим объем порового пространства, доступный для процесса карбонизации, будет сокращаться (см. рис., б).

Во-вторых, увеличение толщины конденсированной пленки влаги ведет к уменьшению размера радиуса просвета в остальных капиллярах. Если размеры капилляров относят их к группам, в которых перенос диоксида углерода происходит путем эффузии, то вследствие уменьшения радиуса микрокапилляра будет уменьшаться плотность эффузионного потока $j_{\text{эфф}}$. Кроме того, уменьшится плотность потока, вызываемая явлением теплового скольжения молекул. Таким образом, суммарная плотность потока переноса углекислого газа при увеличении относительной равновесной влажности газовой смеси внутри порового пространства φ со значения $\varphi = 0{,}5$ будет уменьшаться до нуля при $\varphi \approx 0{,}99$.

Подводя итог проведенного анализа, можно сделать вывод, что при относительной равновесной влажности $\varphi = 0{,}5$ интенсивность процесса карбонизации будет максимальной. Этот факт косвенно подтверждается исследованиями по усадке [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Алексеев С. Н.** Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С. Н. Алексеев, И. И. Розенталь. — М. : Стройиздат, 1976. — 256 с.

2. Долговечность железобетона в агрессивных средах : совм. изд. СССР—ЧССР—ФРГ / Алексеев С. Н., Иванов Ф. М., Модры С., Шиссель П. — М. : Стройиздат, 1990. — 320 с.

3. **Кузнецова Т. В.** Физическая химия вяжущих материалов : учеб. хим.-технол. для спец. вузов / Т. В. Кузнецова, И. В. Кудряшов, В. В. Тимашев. — М. : Высш. школа, 1989. — 384 с.

4. **Лыков А. В.** Явление переноса в капиллярно-пористых телах / А. В. Лыков. — М. : ГИТТЛ, 1954. — 212 с.

5. **Любарская Г. В.** Коррозия бетона в кислых агрессивных средах / Г. В. Любарская // Коррозионная стойкость бетона в кислых агрессивных средах. — М. : НИИЖБ, 1974. — С. 168—170.

6. **Паттерсон Г. Н.** Молекулярное течение газов : пер. с англ. / Г. Н. Паттерсон. — М. : Наука, 1960.

7. **Рамачандран В.** Наука о бетоне : физико-химическое бетоноведение / В. Рамачандран, Р. Фельдман, Дж. Бодуэн ; пер. с англ. Т. И. Розенберг, Ю. Б. Ратиновой ; под ред. В. Б. Ратинова. — М. : Стройиздат, 1986. — 278 с.

8. **Штакельберг Д. И.** Термодинамика структурообразования водно-силикатных дисперсных материалов / Д. И. Штакельберг. — Рига : Зинатне, 1984. — 200 с.

Поступила 16.09.08.

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОЛИМЕРНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

В. В. Цыганов

В статье рассматривается классификация основных подходов к оценке долговечности железобетонных конструкций с полимерных покрытиями: метод экспертной оценки, метод прогнозирования, ускоренные испытания, математическое моделирование, методы механики разрушений, методы строительной механики железобетонных конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой, и др. Автор приходит к выводу, что данная классификация является неполной и в известной степени условной. Значительная разница в сроках службы конструкций и материалов приводит к необходимости их группировки.

Термин «срок службы» относится к конструкциям, проявляющим удовлетворительные эксплуатационные качества в течение оговоренного периода времени без непредвиденных расходов на эксплуатацию. Установление заданного (назначенного) срока службы любой конструкции имеет решающее значение при выборе категории долговечности и методов ее обеспечения.

В настоящее время в развитии практики и теории оценки долговечности и в вопросах аналитических подходов прогнозирования срока службы железобетонных конструкций с полимерными покрытиями сложилось несколько основных направлений [4].

1. *Общий метод, или метод экспертной оценки*, основанный на коллективном опыте и знаниях, полученных на базе лабораторных и производственных испытаний конструкций и материалов, а также с помощью специальных исследований. Это направление опирается как на эмпирические знания, так и на эвристический подход [1].

При выборе железобетонных конструкций обычно учитываются эмпирические зависимости между проектными параметрами железобетонных конструкций и их качеством, лабораторных испытаний полимерных покрытий, а также по результатам натурных испытаний и условий совместной работы железобетонных конструкций с полимерными покрытиями.

Такой прием дает соответствие теории и практики в тех случаях, когда срок службы невелик, или если условия окружающей среды не являются агрессивными по отношению к материалу конструкции, или имеют стационарный характер. Но так как железобетонные конструкции с полимерными покрытиями рекомендуются для эксплуатации в условиях воздействия агрессивных факторов, такой подход не дает ожидаемых результатов в случае, когда необходимо решить проблему прогнозирования срока службы конструкций для отрезка времени, превышающего пределы опыта или знания.

2. *Метод прогнозирования*, основанный на сравнении эксплуатационного качества. Он построен на предположении, что, если железобетонная конструкция была долговечной для определенного времени, аналогичная конструкция, находящаяся в подобных условиях, будет иметь тот же срок службы. Ограниченность метода состоит в том, что любая железобетонная конструкция, а особенно слоистая, обладает определенной уникальностью из-за вариаций свойств материалов, геометрий и конкретной практики строительства или изготовления. Поэтому сравнение долговечности известных старых и проектируемых новых аналогичных слоистых конструкций не приводит к достоверным результатам. Сроки службы однотипных конструкций, эксплуатируемых примерно в одинаковых условиях, могут отличаться друг от друга на целый порядок. Другие подходы к отбору железобетонных конструкций основаны на прогнозировании срока службы с использованием расчетов, построенных на знании деградационных механизмов и скорости деградационных процессов [2].

3. *Ускоренные испытания*. В тех случаях, когда нет опыта и знаний в отношении сопро-

тивления воздействиям для новых материалов или конструкций, проводятся ускоренные возрастные испытания. Чтобы оценить срок службы новых материалов или конструкций, было допущено, что число циклов ускоренных испытаний несет некоторый вид зависимости от срока службы в действительных условиях. Сравнивая скорость изменения эксплуатационного качества материала при данных испытаниях с тем же параметром, полученным при долговременных испытаниях в реальных условиях, можно было оценить срок службы новых материалов или конструкций.

Важное требование для использования ускоренных испытаний состоит в том, что деградационные механизмы в них должны быть такими же, как и при эксплуатации. Наибольшей трудностью в использовании такой методики прогнозирования срока службы является получение обеспеченных данных о параметрах эксплуатационного качества за длительный отрезок времени.

4. *Методы математического моделирования*, основанные на физике и химии деградационных процессов. Ключевым вопросом здесь является знание закономерностей снижения эксплуатационного качества, т. е. изменения основных свойств материалов и характеристик конструкций. В рамках такого подхода для оценки долговечности получил развитие метод деградационных функций [2].

5. *Методы, в которых используются практические приложения теории надежности, стохастических методов и методов математической статистики*. Одним из подходов при разработке расчетных моделей долговечности является оценка условной надежности, при которой характеристики прочности сечений и действующие на конструкцию нагрузки рассматриваются как случайные величины. При этом снижение несущей способности в период эксплуатации конструкции условно заменяется понятием статистической изменчивости расчетных параметров.

В соответствии с другим подходом вероятность безотказной работы в период эксплуатации подчиняется статистическим закономерностям, характерным для данного объекта. Они должны быть найдены по результатам статистической обработки большого объема информации об эксплуатационных отказах изучаемых объектов. Основным препятствием в реализации данного подхода является ограниченность объема информации об отказах. В рамках данного подхода предложено использовать метод Монте-Карло для оценки надежности железобетонных конструкций с полимерными покрытиями [1].

Третий подход рассматривает пространство качества системы и траектории изменения качества системы во времени. Выход траектории из области допустимых значений является признаком отказа. Воздействие и поведение конструкции в период эксплуатации рассматриваются как случайные процессы. Достижение предельного состояния (отказа) представляет собой следствие постепенного накопления повреждений.

6. *Методы механики разрушений*. В последние 5—10 лет появилась новая тенденция к оценке долговечности железобетонных конструкций, в основе которой лежат практические аспекты механики разрушений и метода конечных элементов (МКЭ).

7. *Методы строительной механики железобетонных конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой*. Этот раздел теории расчета конструкций, работающих в агрессивных средах, включает в себя приложение аналитических методов механики сплошного тела к задачам сопротивления железобетонных конструкций коррозионным воздействиям, особенно в тех случаях, когда не удается выяснить общую схему разрушения конструкции или когда возможности метода предельных состояний ограничены.

Рассмотренная классификация основных подходов к оценке долговечности железобетонных конструкций с полимерными покрытиями является неполной и в известной степени условной, поскольку они часто применяются в сочетании, но общим является то, что концепциями расчета в них предусмотрен прямой учет фактора времени. Значительный разброс в сроках службы конструкций и материалов приводит к необходимости их группировки. Установленные строительными нормами сроки службы конструкций являются усредненными, расчетными сроками, обусловленными физическим (техническим) износом материала.

Развитие расчетного аппарата для оценки долговечности и продолжительности эксплуатации с использованием количественных показателей прогнозируется на основе энерге-

тических представлений механики деформирования и разрушения конструкций, теории накопления повреждений и деградационных функций с учетом комплексного характера силовых и несиловых воздействий, управления ресурсом конструктивной безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Селяев В. П.** Исследования железобетонных балок с полимерными покрытиями / В. П. Селяев, Ю. Б. Потапов, Б. М. Люпаев // Применение полимерных смол в бетонных и железобетонных конструкциях : м-лы к Всесоюз. совещанию. — Вильнюс, 1971. — С. 62.

2. **Селяев В. П.** Химическое сопротивление и долговечность строительных материалов, изделий, конструкций / В. П. Селяев, Т. А. Назина, В. Н. Уткина ; под общ. ред. В. П. Селяева. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2003. — 48 с.

3. **Цыганов В. В.** Вероятностные аспекты анализа надежности железобетонных конструкций с полимерными покрытиями / В. В. Цыганов // Актуальные вопросы строительства. Вып. 6 : м-лы Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 ч. Ч. 1. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2007. — С. 333—336.

4. **Цыганов В. В.** Долговечность железобетонных конструкций с функционально-градиентными покрытиями : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. В. Цыганов. — Самара, 2007. — 20 с.

Поступила 16.09.08.

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И СПЕЦСООРУЖЕНИЙ

ПРИМЕНЕНИЕ КАРКАСНЫХ ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНЫХ ОСНОВАНИЙ В АВТОДОРОГАХ

Б. М. Люпаев, Ю. А. Полетаев, А. Ю. Луконин, О. А. Ворсина, Л. А. Галочкина

Рассмотрены вопросы опытного применения в автодорогах каркасного щебеночно-песчаного материала в различных природных условиях.

Ежегодно в секторе дорожного строительства затрачиваются огромные средства на создание новых, ремонт и восстановление существующих дорог. Возросли тенденция использования новых технологий, качество устройства конструктивных слоев дорожной одежды автомобильных дорог, а также использование материалов, улучшающих долговечность, прочность дорожных покрытий и оснований, к которым относят георешетки и геосинтетики. Все это ведет к значительному удорожанию стоимости строительства дорог, быстро устаревающих вследствие увеличения интенсивности. Важнейшим фактором снижения стоимости строительства автомобильных дорог и повышения прочности является применение местных дорожно-строительных материалов и забытых технологий строительства, а именно усовершенствованной щебеночно-песчаной смеси.

Щебеночно-песчаные смеси (ЩПС) при правильной технологии укладки по прочностным качествам не уступают тощему бетону. Бетон обладает широким спектром технических характеристик, что позволяет использовать его как в строительстве оснований, так и в качестве дорожных покрытий. Наряду с комплексом положительных качеств, бетон является дорогостоящим и технологически трудоёмким в изготовлении материалом. Поэтому в определенных областях строительства его невыгодно использовать. ЩПС обладают плотностью бетона, но отсутствие связующего материала снижает их сдвиговые характеристики. В новом материале сдвиговую нагрузку воспринимает каркас из щебня, поэтому он получил название щебеночно-песчаный каркасный материал (ЩПК) (рис. 1).

ЩПК состоит из каркаса, образованного уплотненным щебнем, пустоты в котором

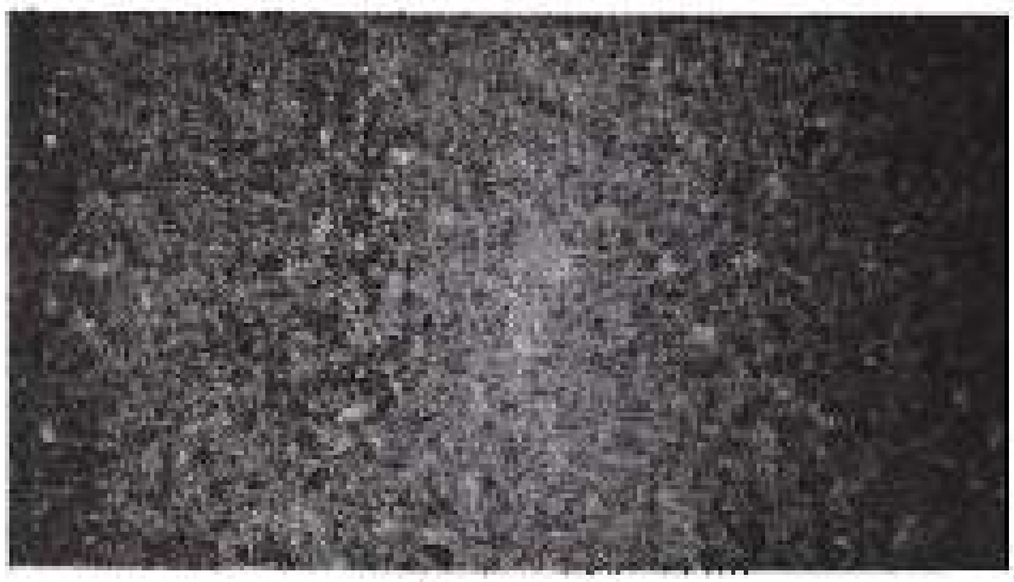


Рисунок 1
ЩПК, изготовленный из щебня, фр. 20—70, М1200, в увлажненном состоянии

заполнены песком (с оптимальным содержанием глины) в соотношении 3 : 1. Песчаная

смесь засыпается в пустоты между гранулами каркаса из щебня в естественном или увлажненном состоянии. При такой технологии изготовления образуется материал со слабосвязанной, монолитной структурой [2].

Выполнены сравнительные исследования свойств ЩПК и щебня при сжимающих нагрузках (как это требуется при определении марки щебня). Использовался известняковый щебень Иссенского карьера, Пензенской области следующих фракций: 10—20, 20—40 и 40—70 мм. Исследования проводились с помощью цилиндра с радиусом 12,5 см и высотой 15 см. Материал обжимался нагрузкой, равной 20 тс.

Испытания показали, что деформативность при сжатии ЩПК на основе рассматриваемых фракций щебня в цилиндре составила 0,5 см, при этом щебень не имел видимых повреждений. Испытания щебня в том же цилиндре и при аналогичной нагрузке показали среднюю осадку: 4,0 см (при фракции 10—20 мм), 4,5 см (20—40 мм) и 5,5 см (40—70 мм). В первом случае щебень уплотнялся полностью, заполняя межщебеночное пространство продуктами измельчения. Во втором случае это пространство появилось. В третьем случае имелись огромные пустые полости. В целом щебень марки 300 имел многочисленные повреждения.

Результаты испытаний выявляют увеличение незаполненных пустот в основании из щебня крупных фракций, что при недостаточном уплотнении приводит к дальнейшему разрушению и возникновению колейности в основаниях дорог при эксплуатации. В основании из ЩПК такой тенденции не наблюдалось, так как все свободное пространство заполнено песком.

Была разработана и запатентована установка (рис. 2, 3) [1], позволяющая испытывать любой материал в условиях, максимально приближенных к реальным.

Сдвиговая установка представляет собой соединенные последовательно три цилиндра 1, 2, 3 с внутренним диаметром 11,5 см и общей длиной 35 см. Средний цилиндр, смещаясь под давлением пресса, создает сдвиг в двух параллельных плоскостях.

В цилиндре 3 друг за другом расположены: обжимающий штамп 6 и цилиндр 10, передающий обжимающую нагрузку; индикатор часо-

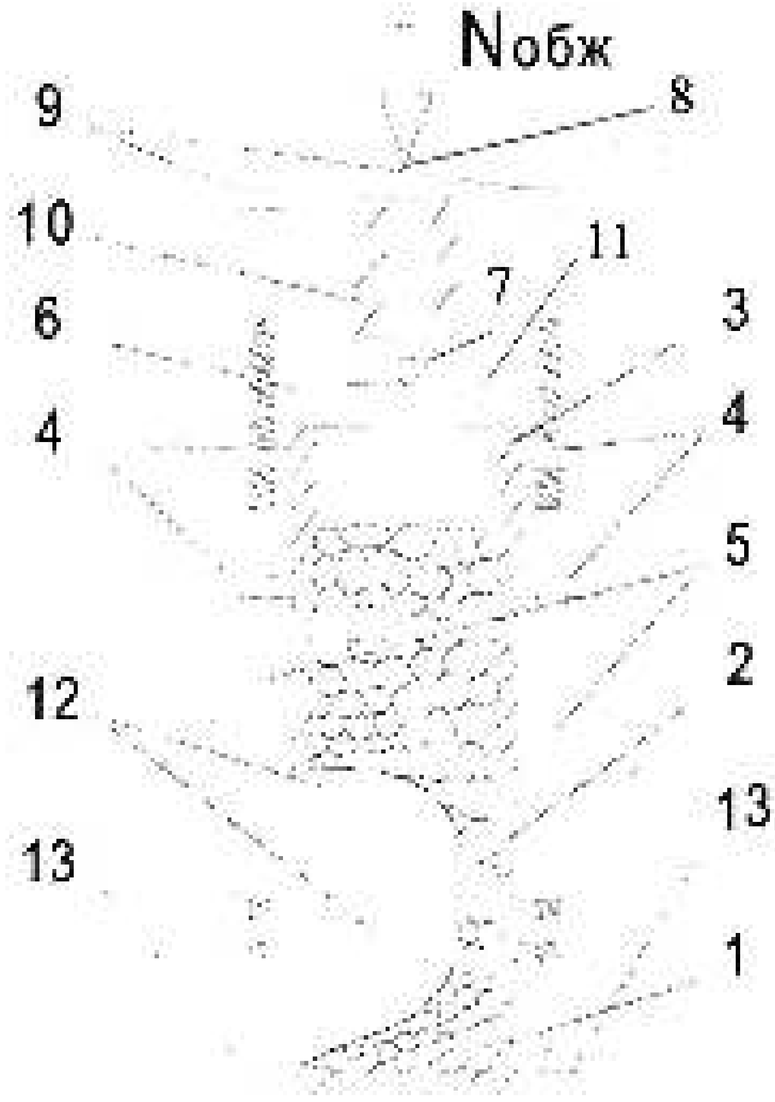


Рисунок 2
Устройство для определения сопротивления сдвигу при создании обжимной нагрузки

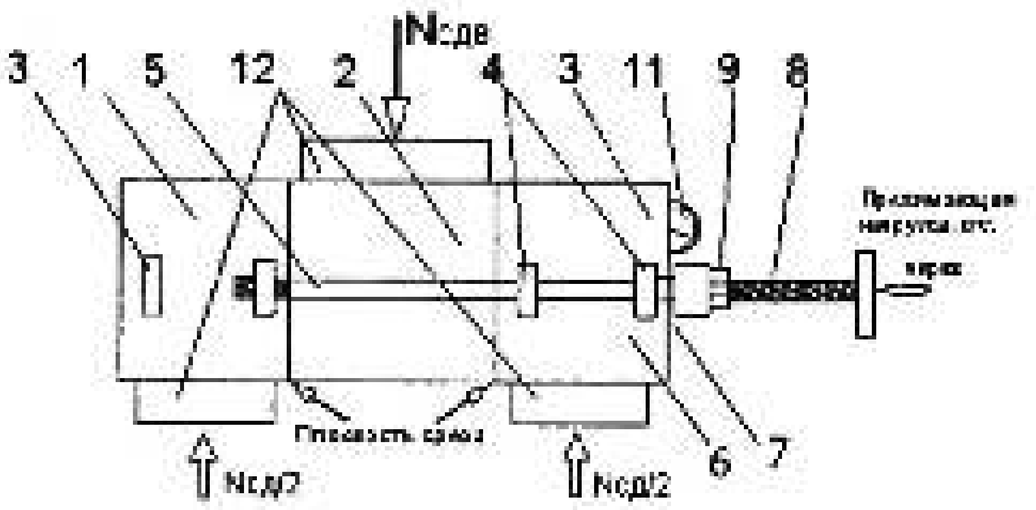


Рисунок 3
Устройство для определения сопротивления сдвигу при наличии прижимной нагрузки ($N_{прижим}$)

вого типа II и приспособление для создания прижимной нагрузки в виде фиксирующей пластины 8 с прижимной винтовой ручкой: приспособление для создания срезающего усилия в виде стойки 12, жестко закрепленной на цилиндре 2. Цилиндры 1 и 3 связаны между собой с помощью фиксирующих стержней 5. Опорные стойки 12 расположены также на цилиндрах 1 и 3.

Испытания проводились с применением щебня М300 разных фракций и кварцевого песка при оптимальном соотношении по объему 3 : 1. При определении сопротивления материала на сдвиг использовали следующую технологию нагружения. В цилиндрах

материал обжимался нагрузкой до 200, 400 и 600 кгс (данная нагрузка создается катками массой 5, 10 и 15 т соответственно) и затем разгружался. После этого материал прижимался механически винтовым прижимом с усилием до 50, 100 и 200 кгс (аналогичная нагрузка возникает в момент нагружения участка эксплуатационным транспортом). Приложение сдвигающей нагрузки производилось прессом до смещения среднего цилиндра относительно крайних на 5 мм. Результаты исследований приведены на рис. 4 и 5 [3].

Испытания показали, что при аналогичных условиях у ЩПК сопротивление сдвигу значительно выше, чем у щебня. При использовании щебня крупных фракций у ЩПК наблюдается тенденция роста сдвиговой устойчивости к нагрузкам, в щебеночном основании она незначительна (рис. 6).

В связи с тем что ЩПК не использовался в массовом строительстве, сравним его с материалом, близким по структуре, — щебеночно-песчаной смесью. Она применяется в строительстве оснований автомобильных дорог и аэродромов (ГОСТ 25697-94) для устройства покрытий, укрепления обочин автомобильных дорог и оснований по способу заклинки [4].

Смесь должна соответствовать требованиям ГОСТа для строительства оснований. В эксперименте рассматривалась смесь под номером «С6», применяемая для строительства оснований с непрерывной гранулометрией. Наибольший размер зерен — 40. Зерновой состав смесей приведен в табл.

Данная смесь соответствует щебню и ЩПК фракции 20—40 мм. Все эксперименты произведены при максимальных условиях эксплуатации.

По результатам видно, что ЩПК намного превосходит остальные материалы по прочностным характеристикам.

Если представить участок основания непосредственно в момент нагружения транспортом, то наблюдалось бы следующее: в основании из щебня нагрузка от транспорта распределится, между щебнем сосредоточено в местах соприкосновения, что будет способствовать его разрушению до полного заполнения пустот продуктами измельчения (рис. 7, 8).

В основании из ЩПК за счет плотной структуры давление от транспорта распределяется равномерно между несущим материалом (щебнем) и заполнителем (песком) и передается равномерно по всему участку нагружения.

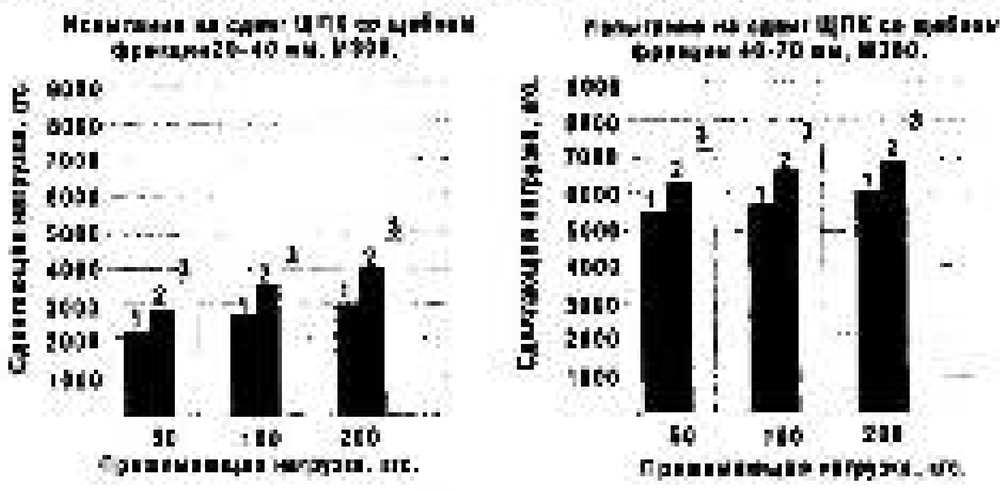


Рисунок 4

Зависимость изменения прочности на сдвиг ЩПК со щебнем фр. 20—40 и 40—70 мм при разном обжатии от прижимающей нагрузки.
1 — ЩПК обжат до 200 кгс;
2 — то же до 400 кгс; 3 — то же до 600 кгс

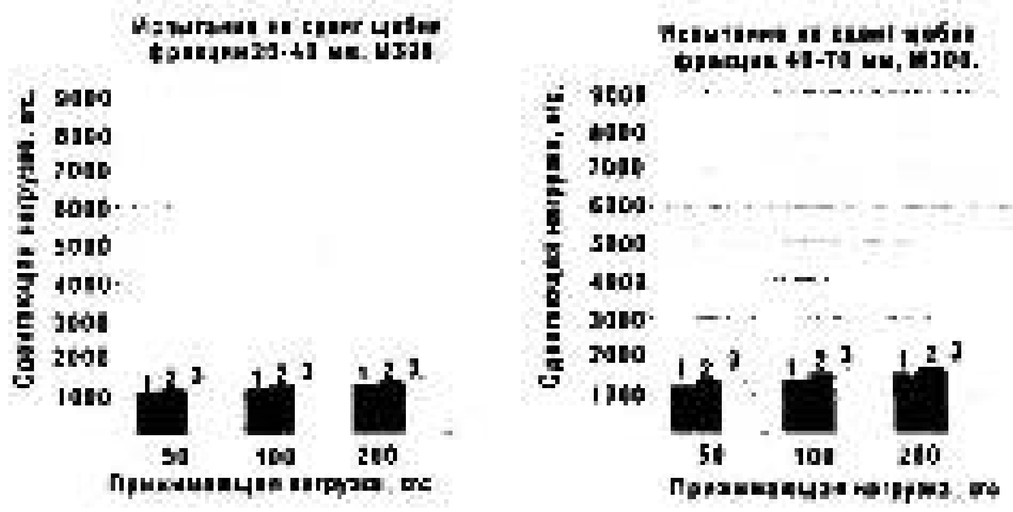


Рисунок 5

Зависимость изменения прочности на сдвиг щебня фр. 20—40 и 40—70 мм при разном обжатии от прижимающей нагрузки.
1 — щебень обжат до 200 кгс;
2 — то же до 400 кгс; 3 — то же до 600 кгс



Рисунок 6

Зависимость изменения прочности на сдвиг ЩПК, щебня и ЩПС от прижимной нагрузки при обжиме 600 кгс.
1 — щебеночно-песчаная смесь «С6»;
2 — щебень фр. 20—40 мм, М 300;
3 — ЩПК со щебнем фр. 20—40 мм, М 300

Таблица

Зерновой состав смеси «Сб», в % по массе

Полный остаток на ситах размером, мм									
120	80	40	20	10	5	2,5	0,63	0,16	0,05
—	0—5	0—20	40—60	60—80	70—85	75—85	85—95	93—97	95—100

Технология строительства ЩПК материала состоит из нескольких этапов, которые в свою очередь могут сокращаться в зависимости от крупности используемого щебня:

1. Рассыпка и возведение щебеночного основания на уплотненном песчаном основании.

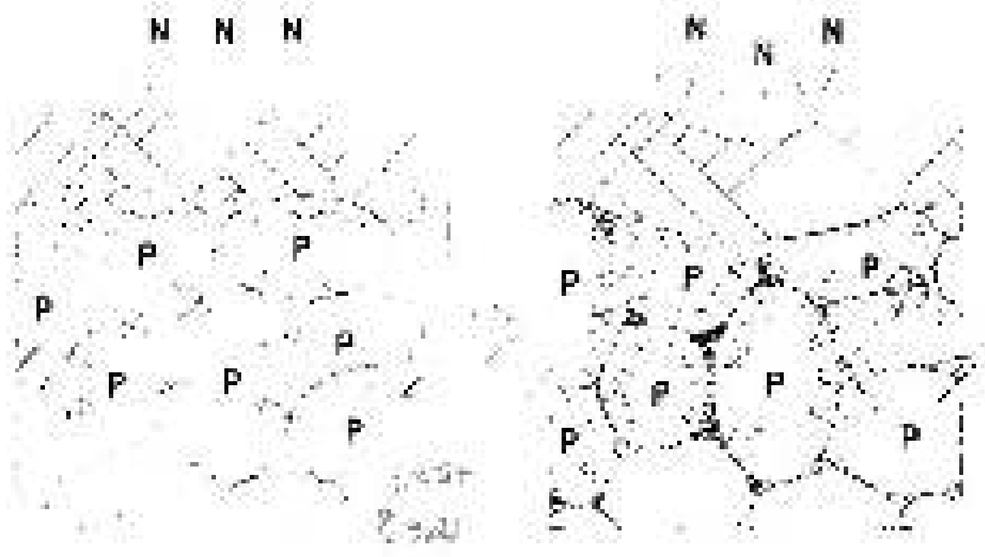


Рисунок 7

Разрушение основания и распределение давления в щебеночном основании

2. Профилировка щебеночного основания.

3. Уплотнение щебеночного основания за два прохода по одному следу самоходными катками с гладкими вальцами на виброходу массой 8—13 т.

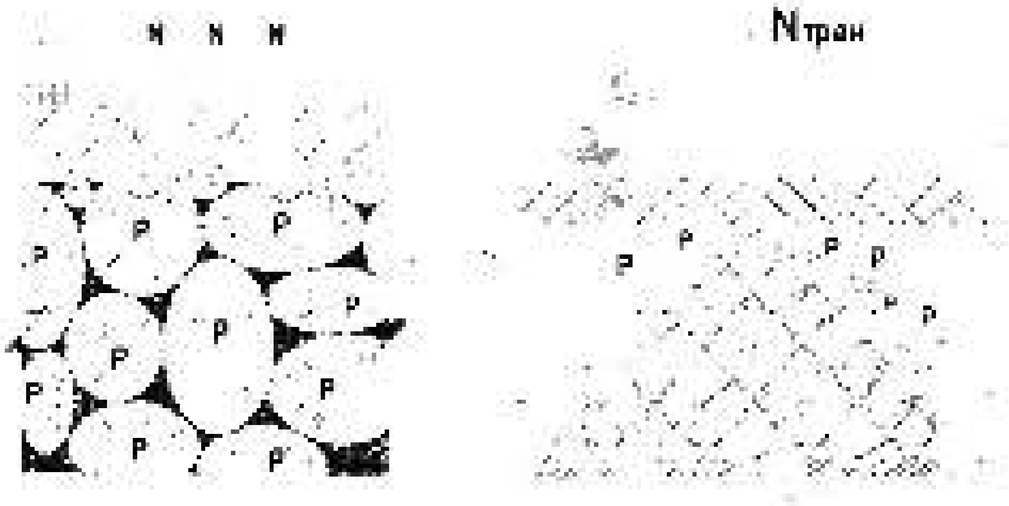


Рисунок 8

Основание из щебеночно-песчаного каркасного материала в процессе эксплуатации, $N_{трансп}$ — вертикальная нагрузка от транспорта, P — сосредоточенная нагрузка в щебне, p — распределенная нагрузка в песке, n — количество щебня, x — количество песка.

$$N_{трансп} = (p \times x) + (P \times n)$$

4. Рассыпка песка и его профилировка в соответствии с 30—35 % от объема щебня или при соотношении песка и щебня, равном 1 : 3 (рис. 9).

5. Уплотнение песчаного основания за два прохода по одному следу самоходными пневмокатками на виброходу массой 6—8 т.

В зависимости от проектной толщины щебеночного основания и от крупности щебня возведение основания из ЩПК производят согласно пунктам 1—4:

а) при фракции щебня 10—20 мм максимальная толщина основания 15 см.

б) при фракции щебня 20—40 мм максимальная толщина основания 30 см.

в) при фракции щебня 40—70 мм толщина основания более 30 см.

6. Для улучшения сцепления ЩПК с асфальтобетонным покрытием поверхность подметается механическими щетками. Щебень должен выступать на 15—20 мм.

Следует отметить, что строительство данного основания, по подсчетам, сократит время строительства примерно в два раза, стоимость строительства основания — на 15—20 %, увеличит эксплуатационный срок дороги, уменьшив при этом затраты на содержание и ремонт.

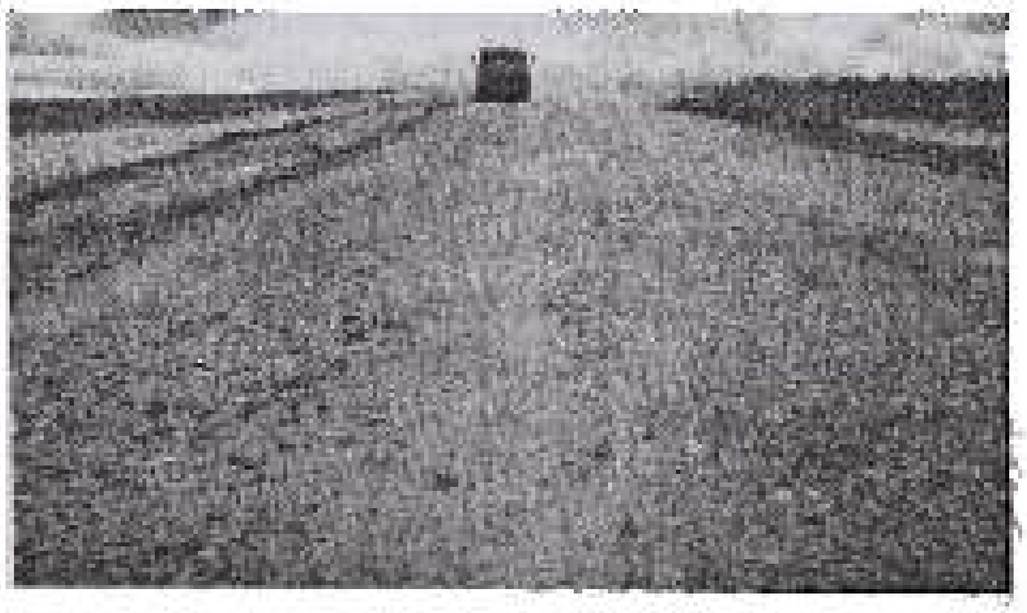


Рисунок 9

Удаление излишков песка со щебня фр. 20—70, М1200

Технико-экономическая эффективность изготовления данного материала на основе щебеночно-песчаной смеси обусловливается по-

лучением нового материала с повышенными физико-механическими показателями. Экономический эффект определяется от экономии 20 % щебня и горюче-смазочных материалов, так как это вещество уплотняется за счет песка.

Экономический эффект вычисляется по формуле:

$$C_{щпк} \approx ((C_щ + 0{,}3C_п - 0{,}2C_щ) \times H_{щпк} \times B) \times L - C_{упл} + C_{техн} - C_{рем},$$

где $C_{щпк}$ — стоимость м.п. оснований из ЩПК в руб/м. п.;

$C_щ$, $C_п$ — стоимость 1 м³ щебня и песка в руб/м³;

$H_{щпк}$ — толщина основания дороги из ЩПК, м;

В — ширина дорожного основания из ЩПК, м;

L — общая протяженность дороги, м;

$C_{упл}$ — стоимость затрат на уплотнение щебеночного основания, руб/м. п.;

$C_{техн}$ — дополнительные технологические затраты на изготовление ЩПК при послойной укладки песка, руб./м. п.;

$C_{рем}$ — приведенная экономия на ремонте при дальнейшей эксплуатации дороги из ЩПК, руб/м. п. за расчетный период службы.

Исходя из исследований данного материала возможен расчет материала с максимальными прочностными характеристиками с помощью метода математического планирования эксперимента и сравнения ЩПК материала со щебнем по экономическим параметрам.

Была составлена матрица планирования, в которой функция зависит от степени влияния следующих факторов: фракционного состава ЩПК (x_1); наличие обжимной нагрузки (x_2); наличия прижимной нагрузки (x_3). При проведении исследований материалов (ЩПК, щебня) нами использован щебень, фракционный состав которого варьировался на следующих уровнях: (−1) — 10—20 мм (№ 1), (0) — 20—40 мм (№ 2), (+1) — 40—70 мм (№ 3). Обжимная и прижимная нагрузка, действующая на ЩПК и щебень, видоизменялась на уровнях 200 кгс, 400 кгс, 600 кгс, 50 кгс, 100 кгс, 200 кгс соответственно. Оптимизируемым параметром являлась средняя сдвигающая нагрузка этих материалов.

После проведения статической обработки результатов эксперимента по общепринятой методике получены уравнения регрессии. Зависимость средней сдвигающей нагрузки у материалов описываются уравнением:

$$F(x_k) = F(x_{k1}, \ldots, x_{kn}).$$

Оценочный метод разрабатывался для оценки оптимальности параметров материалов с различными ограничениями. При расчете оптимальных параметров строительных материалов отдельные целевые функции для k-го параметра представляются в виде:

$$F(x_k) = F^{+}(x_k) + F^{-}(x_k);\ k = 1, \ldots, n.$$

$$Э_k = \left| \frac{m_k^{+} * F(x_k)^{+}}{m_k^{-} * F(x_k)^{-}} \right|;\ k = 1, \ldots, n$$

Оптимальное значение функции при различных параметрах значений фракции щебня в ЩПК, где параметр щебня X_1 принимает усредненные значения 1,5 см, 3 см и 6 см. При решении, где $Э_k \approx 1$, средняя сдвигающая нагрузка стремится к минимуму. Нам необходим максимум.

По количественному критерию оценки оптимальности $Э_1$ у ЩПК коэффициент ($Э_{x1}^{1} = 0{,}064$, $Э_{x1}^{3} = 0{,}062$) намного рациональнее по сравнению со щебеночным основанием ($Э_{x1}^{1} = 207{,}9$, $Э_{x1}^{3} = 51{,}9$). Влияние переменных X_2 и X_3 на несущую способность материала незначительно.

С помощью системы компьютерной математики MathCAD 2001 рассмотрим сечения функции от X_1. Данная программа строит кривую в виде параболы с минимальным значением, равным нулю, что выявляет прямую зависимость увеличения сдвиговой устойчивости от крупности используемого щебня.

Строительство оснований по данной технологии велось небольшими участками в Атяшевском, Рузаевском, Большеберезниковском, Зубово-Полянском районах Республики Мордовия, на улицах Саранска в течение пяти и более лет. Аналогичные технологии используются в Республике Карелия и районах Сибири.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ №2289654 С1 МПК. Кл. E02D 1/00. Устройство для определения сопротивления щебеночного основания срезу / Ю. А. Полетаев, Б. М. Люпаев// БИПМ, 2006.
2. **Полетаев Ю. А.** Как используется КББ в дорожном строительстве и что это такое? / Ю. А. Полетаев, А. Ю. Луконин, А. В. Ямашкин, Б. М. Люпаев // Наука и инновации в Республике Мордовия. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2005. — С. 550—554.
3. **Полетаев Ю. А.** Экспериментальное применение КББ в дорожном строительстве / Ю. А. Полетаев, Б. М. Люпаев, А. А. Ликомаскин, П. И. Пивкин // Актуальные вопросы строительства. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2005. — С. 634—637.
4. **Полетаев Ю. А.** Сравнительное исследование свойств КББ, щебня и щебеночно-песчаной смеси при воздействии сдвиговых нагрузок / Б. М. Люпаев, А. А. Ликомаскин // Материалы XI научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарева. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2006. — С. 41—42.

Поступила 16.09.06.

РОДМЕШ – АРМИРУЮЩАЯ СЕТКА

Л. А. Галочкина

Исследование армирующих сеток РОДМЕШ позволяет повысить несущую способность армируемых материалов. Даются рекомендации по их использованию.

В связи с растущей грузонапряженностью и расширяющейся сетью автомобильных дорог их техобслуживание становится все более дорогостоящим. Весьма остро эта проблема стоит в России, поскольку недофинансирование дорожной отрасли в течение последних пяти лет достигло критической отметки.

Для того чтобы избежать повышенных затрат и увеличить сроки службы дорожных одежд, в различных странах мира проводятся различные исследования, в том числе по предотвращению появления трещин за счет внедрения в асфальтобетон армирующих прослоек.

Асфальтобетон — практически идеальный материал для дорожного строительства, однако при его использовании постоянно возникают проблемы с появлением отраженных трещин в новых слоях покрытия. Образование трещин такого типа в основном обусловлено усталостью асфальтобетона, вызванной воздействием высоких температур, а также движением транспорта. Использование гибких армирующих геосеток позволяет замедлить или даже предотвратить появление такого рода повреждений в асфальтобетонных покрытиях.

Цель армирования с помощью геосетки — увеличение срока службы асфальтобетонного покрытия при строительстве, реконструкции и ремонте автомобильных дорог. Армирование замедляет появление трещин на поверхности и дает максимальный эффект в нежестких дорожных одеждах с блочным основанием (старая дорожная одежда с асфальтобетонным покрытием, основание которой выполнено из несвязных материалов, в том числе обработанных неорганическими вяжущими), а также цементогрунта.

Асфальтобетонные покрытия имеют небольшую прочность на растяжение, которая может быть превышена даже при незначительной деформации. Как следствие, в слое асфальтобетона образуются трещины, приводящие к снижению эксплуатационных характеристик и срока службы битумного покрытия.

РОДМЕШ — сетка из стальной проволоки двойного кручения с цинковым покрытием,

укрепленная армирующим прутом, расположенным в поперечном направлении. Применяется для увеличения несущей способности дорожного покрытия. Идеально подходит для уменьшения деформации дорожного покрытия, увеличивая, таким образом, эксплуатационные характеристики, срок службы дорожных слоев, а также уменьшая их толщину.

Использование армирующей сетки РОДМЕШ в новом дорожном строительстве увеличивает несущую способность дорожного покрытия, особенно на слабых грунтах и предотвращает образование колейности и трещин. Глубина заложения сетки РОДМЕШ может быть различной в зависимости от требований, предъявляемых к качеству дорожного покрытия, геометрических характеристик дорожных слоев. Однако в любом случае рекомендуется укладывать сетку РОДМЕШ между асфальтобитумными слоями (рис. 1).



Рисунок 1
Сетка РОДМЕШ

Подготовка основания для последующей укладки материала РОДМЕШ осуществляется с помощью традиционной дорожной техники (фрез). Сетка РОДМЕШ поставляется в рулонах длиной 50 м и шириной 3 или 4 м. В зависимости от ширины рулона необходимо выбрать штангу соответствующей длины, и, закрепив на ней рулон, раскатать сетку по подготовленной поверхности внешней стороной наверх. По завершении раскатывания сетки ее необходимо разровнять соответствующими уплотняющими механизмами (самоходными пневмоколесными катками) (рис. 2). Полный цикл выравнивания сетки состоит из четырех проходов вдоль всего раскатанного участка сетки РОДМЕШ.

Поступила 16.09.08.



Рисунок 2
Укладка сетки РОДМЕШ

После надежной фиксации сетки необходимо нанести битумный слой согласно традиционной методике. При укладке верхнего слоя асфальтобетонного покрытия необходимо помнить, что минимально допустимая толщина покрытия поверх сетки РОДМЕШ составляет 50 мм (рис. 3). После укладки асфальта необходимо осуществить стандартную процедуру его уплотнения с использованием специализированных дорожных катков.



Рисунок 3
Укладка асфальтобетона

При осуществлении дорожно-строительных работ современные геосинтетические материалы помогут рационально решить многие технические задачи. Их применение позволит сократить расход традиционных строительных материалов, использовать местный грунт, уменьшить общий объем строительных работ. Так, благодаря использованию армирующей сетки время службы дорожного полотна увеличивается в 2—3 раза.

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОДОРОГ ИЗ ЦЕМЕНТОБЕТОНА В США

Д. Г. Федоров, А. И. Ликомаскин, В. Т. Ерофеев

В статье дается анализируется практика дорожного строительства в США, где наибольшее распространение получил цементный бетон. Анализируются его качественные характеристики — долговечность, высокая световозвращающая способность в ночное время, высокий коэффициент сцепления. Авторами рассматривается общая технология строительства автодорог из цементобетона на примере хайвея I-70 (город Salina, штат Канзас, генеральный подрядчик — Koss Construction Company).

Наибольшее распространение в практике дорожного строительства США получил цементный бетон. С использованием бетона проложены 60 % из более чем 76 000 км автомагистралей США. В пользу цементного бетона говорят его долговечность, высокая световозвращающая способность в ночное время, а также высокий коэффициент сцепления.

Бетонные покрытия меньше деформируются, чем асфальтобетонные, и, хотя первоначальные затраты на создание таких покрытий выше, они служат почти в два раза дольше. Опыт эксплуатации показывает, что дороги и мостовые сооружения из бетона служат 20—30 лет без необходимости капитального ремонта, в то время как дороги из асфальтобетона — всего 8—12 лет.

Благодаря светлой окраске бетон отражает свет на 33—50 % больше, чем асфальт. Благодаря этому городским властям Атланты удалось понизить среднесуточную температуру в городе до 4 °С. Десятилетние исследования улиц, проводившиеся в середине 1980-х гг. в штате Канзас, показали, что затраты на поддержание асфальтовых покрытий в сравнении с бетонными в девять раз выше.

Рассмотрим общую технологию строительства автодорог из цементобетона в США на примере хайвея I—70 около города Салина (штат Канзас), генеральный подрядчик — Koss Construction Company.

Условно процесс строительства можно разделить на четыре основных этапа.

1. *Подготовительный.* На данном этапе осуществляются инженерная подготовка, мероприятия по отводу дождевых вод и подготовке поверхности под устройство основания. В непосредственной близости от объекта строительства (до 10 км) осуществляется монтаж бетоносмесительных установок, представленных на рис. 1.

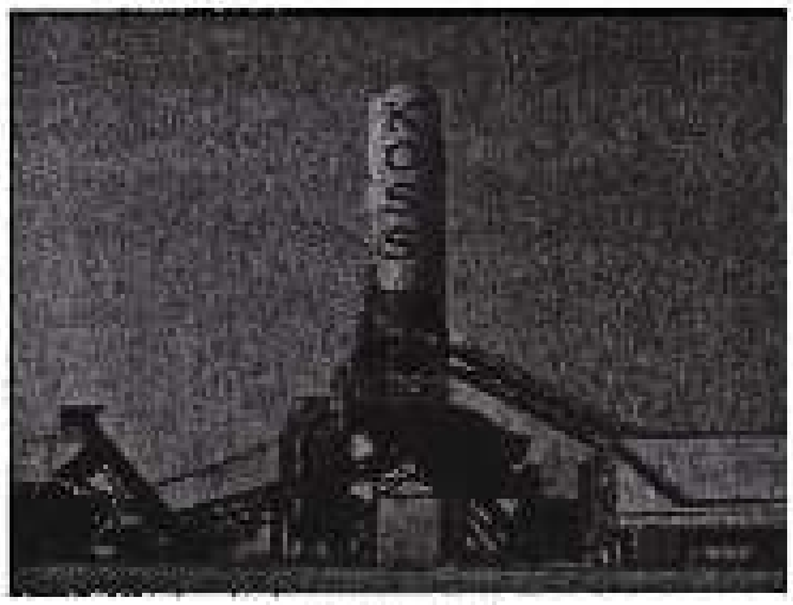


Рисунок 1
Главная бетоносмесительная установка

2. *Укладка основания и арматуры.* По окончании подготовительных работ на выровненное и уплотненное земляное полотно укладывается подготовительный слой, представляющий собой сухую смесь цемента и щебня. После утрамбовки катками на его поверхности разбрызгивается специальный состав для придания прочности. Данный слой затвердевает через 2—3 дня, затем на него укладывают специальную арматурную сетку (рис. 2)



Рисунок 2
Расположение арматурной сетки Koss Construction Company

3. *Укладка бетонной смеси* осуществляется специальными бетоноукладочными машинами (рис. 3). На данном этапе в стро-

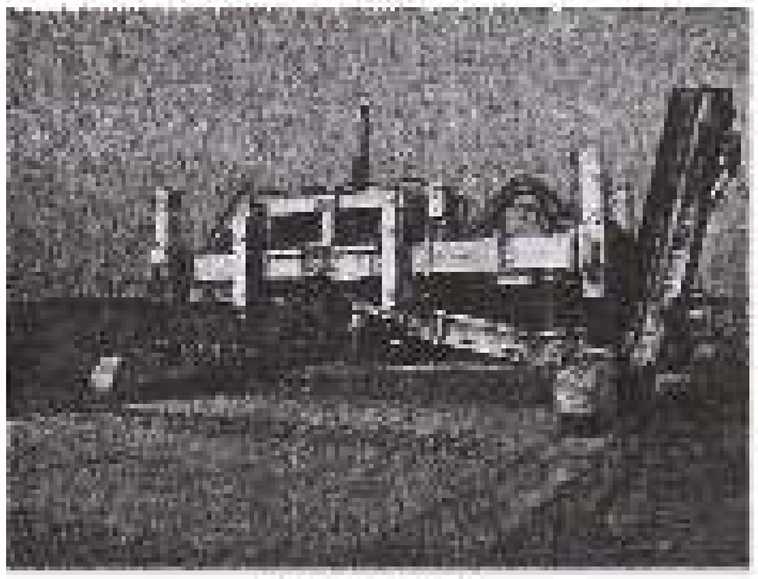


Рисунок 3
Первый бетоноукладчик

ительстве принимают участие четыре машины, две из которых непосредственно укладывают и разравнивают бетонную смесь, еще две являются вспомогательными. Первая принимает бетонную смесь с автосамосвалов и осуществляет ее частичное разравнивание. Вторая окончательно выравнивает поверхность бетонного слоя и служит для укладки в тело бетона арматуры, необходимой для дальнейшего уширения дорожного полотна

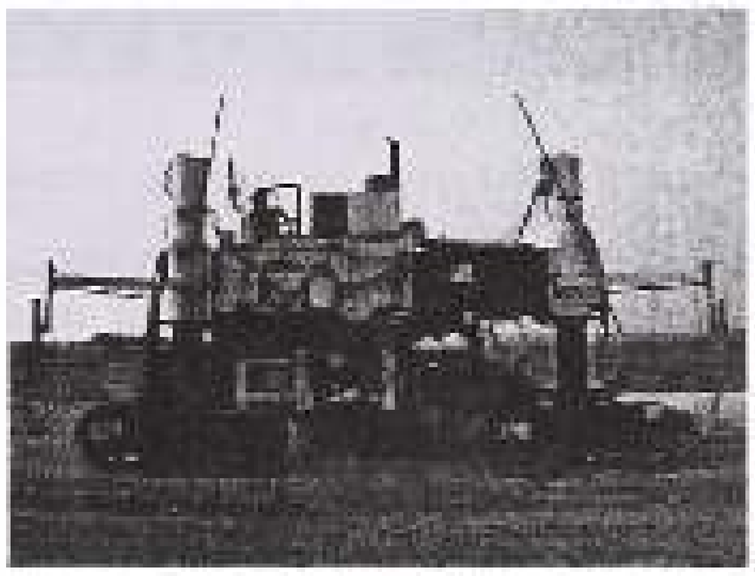


Рисунок 4
Второй бетоноукладчик

(рис. 4). Третья служит для нанесения на поверхности борозд для увеличения сцепления автомобиля с дорогой, а также для окончательного заглаживания (рис. 5). Четвертая машина разбрызгивает специальный состав для придания прочности поверхностному слою бетона. Общая толщина бетонных слоев составляет около 30 см.

Поступила 16.09.08.

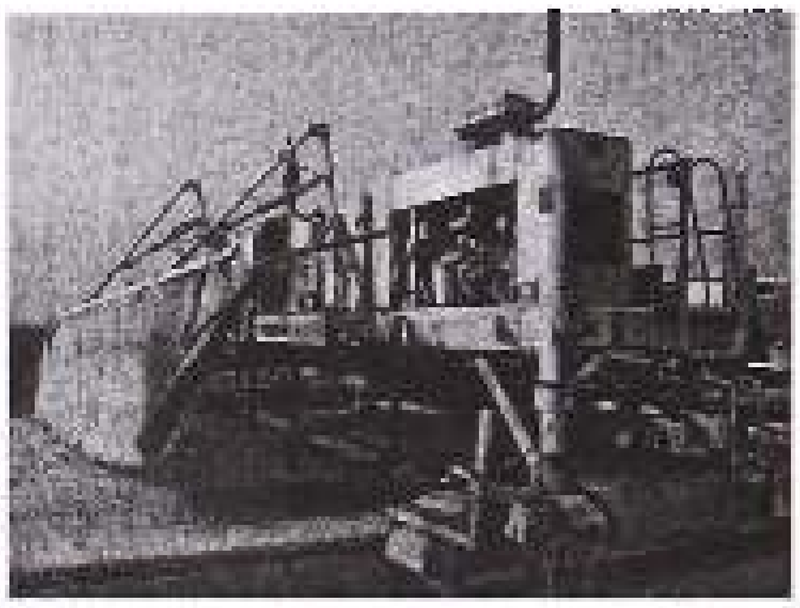


Рисунок 5
Третья (вспомогательная машина)

4. *Устройство деформационных швов.* Данный этап является одним из самых важных, так как неправильное образование трещин может привести к возникновению дефектов и их исправление представляет собой более сложный и трудоемкий процесс, чем первоначальная укладка бетонной смеси.

Через 6—8 ч после укладки бетонной смеси с помощью специальных машин нарезаются швы на глубину 5—8 см (рис. 6). Швы выпол-

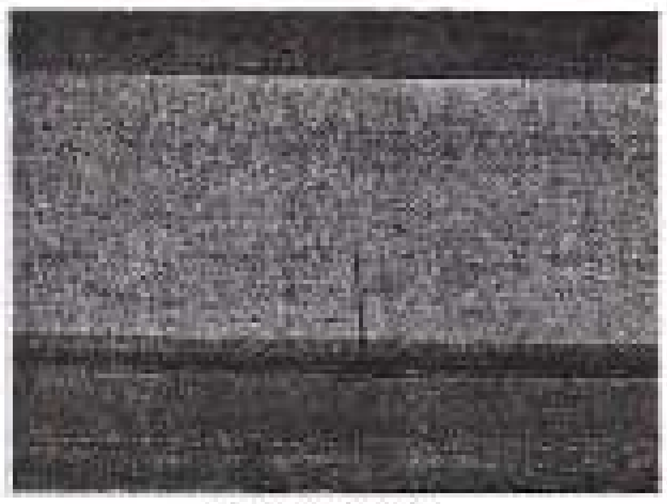


Рисунок 6
Пропилы в бетоне

няются как продольно, на всю протяженность автодороги, так и поперечно, на всю ширину покрытия с шагом 5 м.

По прошествии нескольких дней продольный шов заполняют битумными составами, а в поперечные закладываются резиновые шнуры. Окончательно бетон затвердевает через 28 суток, после чего хайвей готов к эксплуатации. Следует особо отметить, что подрядчик, Koss Construction Company, гарантирует качество дороги в течение 30 лет.

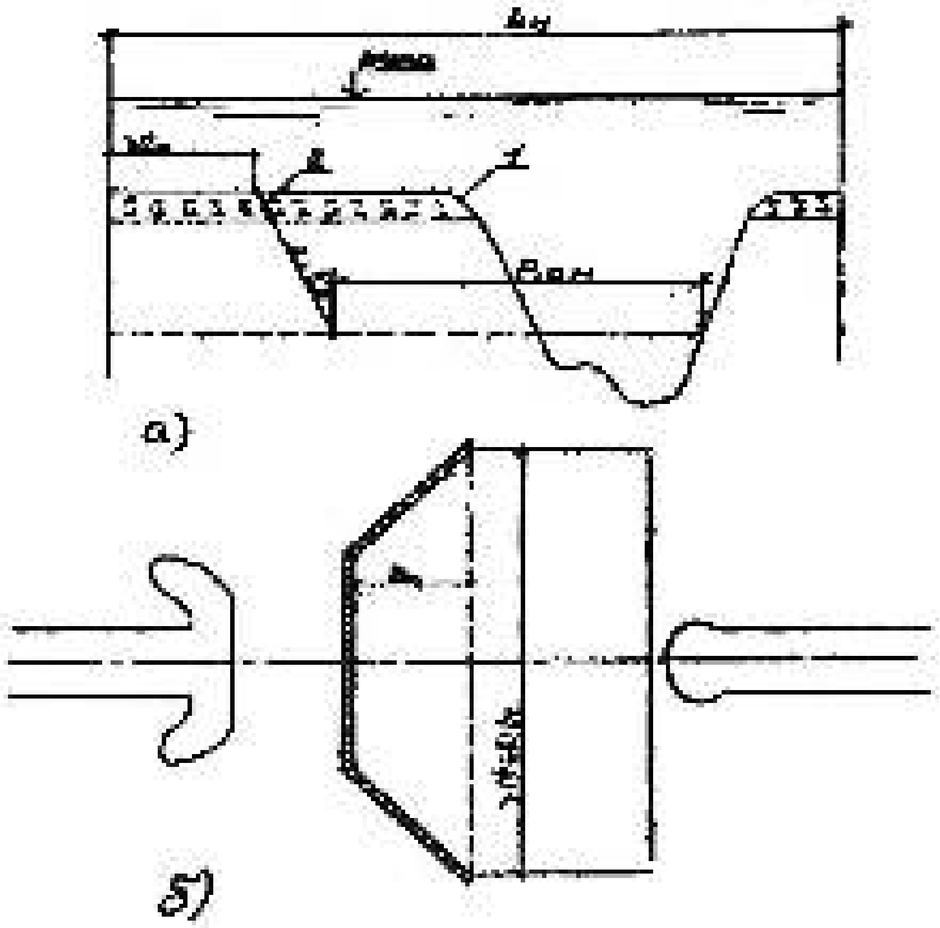
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ОТВЕРСТИЯ АВТОДОРОЖНОГО МОСТА

Г. Ф. Тыщук, Б. М. Люпаев

На расчеты отверстия моста большое влияние оказывают реальные условия эксплуатации и требуемая долговечность конструкций. Даются рекомендации по учету особенностей конструктивных решений на расчет отверстий в мостах.

Проектирование мостов и мостовых переходов включает комплекс расчетов, важнейшей частью которых являются гидрологические, гидравлические и русловые, во многом определяющие генеральные размеры мостов. Вопросы совершенствования методов расчета рассматриваются в этой статье.

С целью уменьшения отверстия моста рекомендуется искусственное уширение русла под ним (срезка берегов поймы в подмостовом отверстии), увеличивающее площадь живого сечения под мостом (рис. 1). Возможность уширения русла определяется в зависимости от степени стеснения потока подходами P и вероятности затопления поймы $P_п$.



Рисунок

Схема срезки: а) в поперечном сечении; б) в плане; 1 — очертание поймы (наплок); 2 — контур срезки

Степень стеснения потока подходами вычисляют по формуле

$$\beta = Q/Q_{рб}, \qquad (1)$$

где Q и $Q_{рб}$ — соответственно полный и бытовой русловой расчетные расходы.

Вероятность затопления поймы находят по кривой распределения ежегодных максимальных уровней для высоты средней отметки поймы над нулем графика водомерного поста. Устройство срезки оправдано в том случае, если выполняется условие

$$0{,}4\,\beta\,(P_п/100+0{,}5) > 1{,}0. \qquad (2)$$

Целесообразность срезки можно рассчитать по табл. Если при найденном P значение $P_{п\%}$ больше указанных в табл., то уширение возможно. При степени стеснения потока $\beta < 1{,}7$ устройство срезки необязательно. При возможности уширения определяют расчетную ширину русла под мостом по формуле

$$B_{рч} = B_{рб}\,[(0{,}93 - 1)\cdot к_п\ \ к_{рж} + 1],$$

где $к_п$ — коэффициент, учитывающий влияние полноты расчетного паводка;

$к_{рж}$ — коэффициент, учитывающий влияние частоты затопления поймы в месте перехода.

Коэффициент, учитывающий влияние полноты расчетного паводка, находят по одной из формул:

$$к_п = (7{,}7/\beta - 1)\ \ (П/2)^{изл-овым}$$

при $\beta < 4{,}5$ и $P_{п\%} < 95$ %, (4)

$$к_п = 0{,}7$$

при $\beta > 4{,}5$ и $P_{п\%} < 95$ %, (5)

$$к_п = 0{,}79 \cdot П$$

при $P_{п\%} > 95$ %, (6)

где П — полнота расчетного паводка.

$$П = h_{пб}/h_{max}, \qquad (7)$$

где $h_{пб}$ — средняя глубина воды на пойме (1); h_{max} — максимальная глубина воды в русле в бытовом состоянии (1).

Коэффициент частоты затопления поймы вычисляется по одной из формул:

$$к_{рж} = (P_{п\%}\ \ 100)^{0{,}5+2{,}5/P_{п\%}}$$

при $P_{п\%} < 95$ %; (8)

Таблица

Показатель	Значение						
Степень стеснения потока подходами при РУВВ, β	1,7	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
Вероятность затопления поймы, $P_{п\%}$	95	75	50	33	21	13	6

$$k_{р\%} = 1 \quad \text{при } P_{п\%} > 95\ \%. \qquad (9)$$

Отверстие моста назначается не менее величины, определяемой по формуле

$$L_{п} = \delta \cdot B_{рв} + \sum b_{оп} + \sum l_{укр} + 2mh_{п}, \qquad (10)$$

где δ — гарантийный запас на возможную погрешность расчета; δ = 1 при гидрометрических расчетах; δ = 1,1 при морфометрических расчетах; $\sum b_{оп}$ — суммарная ширина опор (для расчета отверстия моста в свету $\sum b_{оп} = 0$); $\sum l_{укр}$ — ширина укреплений подошв конусов (для расчета ее можно принять равной 10—20 м); m — коэффициент заложения откоса конуса, равный 2; $h_{п}$ — глубина воды на пойме у конусов при РУВВ (определяют по морфоствору).

На морфостворе намечают такое положение моста, чтобы он перекрывал левую пойму на величину

$$(L_{п} - B_{рб})\ \ Q_{лп}/(Q_{лп} + Q_{пп}), \qquad (11)$$

правую — на

$$(L_{п} - B_{рп})\ \ Q_{пп}/(Q_{лп} + Q_{пп}), \qquad (12)$$

где $Q_{лп}$ и $Q_{пп}$ — соответственно расход воды, проходящий по левой и правой пойме.

Поступила 16.09.08.

ЗАКРЕПЛЕНИЕ СЛАБЫХ БЕРЕГОВ МАЛЫХ РЕК, ОВРАГОВ И БАЛОК

Г. Ф. Тыщук, Н. В. Денега

Дается анализ применения габионных конструкций для закрепления слабых берегов и борьбы с водной береговой эрозией и эрозией почв. Приведены рекомендации по улучшению состояния малых рек.

Бо́льшая часть всех природных водных ресурсов Республики Мордовия приходится на малые реки. К ним относятся водотоки с площадью водосбора менее 2 тыс. км^2 и длиной менее 200 км. Именно в бассейнах малых рек рождаются водные ресурсы страны, от их состояния зависит состояние больших рек. Малые реки — это и самостоятельные ценные объекты природы, значимые для человека.

Из-за нерасчетливой деятельности людей состояние малых рек ухудшается, и они частично или полностью утрачивают полезные свойства в силу следующих причин:

— нарушения режима формирования жидкого и твердого стока (распашка крутых склонов, сокращение площади леса);

— возрастания объема загрязнения рек, что подавляет развитие полезных биоценозов, включая и высшие растения, положительно влияющие на русловые процессы;

— создания подпора в половодье перемычками, плотинами прудов и другими сооружениями, приводящего к заилению русла;

— нарушения эрозионной устойчивости почвы распашкой крутых склонов и пойменных массивов.

Мероприятия для сохранения реки с оптимальным режимом как природного объекта и повышения продуктивности реки в пределах ее природных возможностей разделяются на охранные (ликвидация причин, ухудшающих режим реки), рекультивационные (улучшение режима реки и ее сохранение) и хозяйствен-

ные (увеличивающие продуктивность реки, поймы и надпойменных террас).

К гидротехническим рекультивационным мероприятиям относят:

— выделение водоохранных зон и прибрежных полос. В состав водоохранных зон включается вся пойма, а также склоны долины, оврагов и балок. Эти территории допускается использовать с определенным режимом хозяйствования. В прибрежных полосах хозяйственная деятельность запрещена. Они обязательно должны быть оборудованы водоспусками (водосбросами), обеспечивающими автоматический слив воды из прудов;

— увеличение расходов воды в половодье (особенно в маловодные годы) для промыва русла путем спусков воды из специальных верховых водохранилищ и прудов;

— ограничение пропускной способности пойм для сосредоточения потока в русле с целью увеличения его транспортирующей способности и промыва русла;

— отведение части руслообразующих фракций из русла;

— защита русла от овражных выносов;

— закрепление слабых берегов (желательно биологическими и комбинированными конструкциями);

— стимулирование донной эрозии временным спрямлением лучин;

— очистка русел механизмами;

— экологические и другие мероприятия.

Из перечисленных выше рекультивационных мероприятий особое внимание, по мнению авторов данной статьи, следует уделить вопросу о закреплении слабых берегов, так как водная береговая эрозия и эрозия почв — наиболее актуальная проблема в области строительства искусственных сооружений на территории Мордовии.

Решать эту проблему призваны регуляционные защитные сооружения. Они, как правило, требуют значительных объемов материалов, и потому бо́льшую их часть возводят из местных строительных материалов или с минимальным расходованием цемента, металла. Наиболее широкое применение имеет каменное крепление в виде наброски, мощения и др. В условиях нашей республики такой вид крепления относительно дорог, поэтому без сочетания с другими материалами его применять нецелесообразно. При возведении регуляционных сооружений от строительного камня требуются морозостойкость и необходимый диаметр.

На рис. 1 изображена схема аварийной защиты размываемого берега. Камень сбрасывается в воду за бровку берега самосвалами или бульдозерами. Размыву потоком сопротивляются только камни крупнее расчетного диаметра, определяемого по формуле С. В. Избаша:

$$d_{min} = 0{,}057v^2_{max}. \qquad (1)$$

Выгоднее применять камень без сортировки, в том составе, в котором он получается после взрыва в каменном карьере (так называемую «горную массу»). Однако камня крупнее расчетного диаметра d_{min} в общем объеме должно быть не менее 5—7 %.

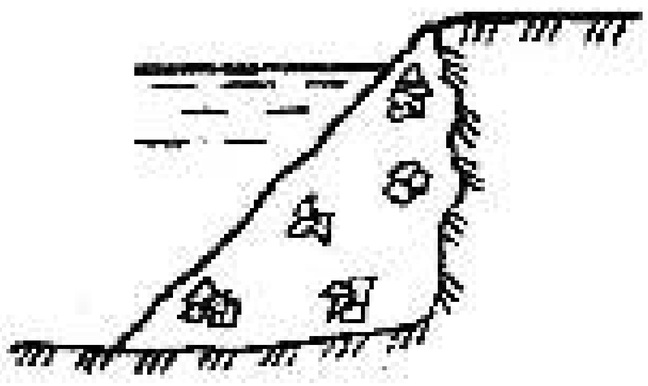


Рисунок 1
Каменная наброска в воду

Камень крупностью мельче расчетного диаметра можно применять в сочетании с сеткой из стальной (лучше оцинкованной) проволоки. Габионные «ящики» из такой сетки в виде параллелепипедов устанавливают на спланированную поверхность (рис. 2). Затем их наполняют равными слоями камня, чтобы вертикальные стенки не были деформированы.

При обилии искомых наносов наружный слой габионной кладки выполняют так, чтобы

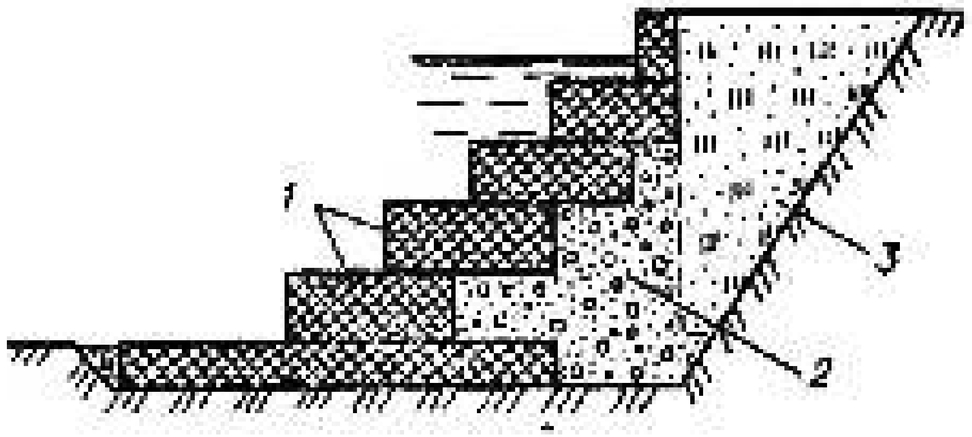


Рисунок 2
Габионная кладка: 1 — габионы; 2 — засыпка из неоседающего грунта; 3 — обратная засыпка с уплотнением

камни или галька виднелись из каждой ячейки и этим защищали проволоку от истирания. Правильно выполненная габионная кладка с применением оцинкованной проволоки работает десятки лет.

Габионы — это конструкции различной формы из металлической сетки двойного кручения по ГОСТ Р 52132-2003 и ASTM A 975-97 с шестиугольными ячейками заводской готовности, предназначенные для укрепления берегов рек, формирования русел, возведения подпорных стен, защиты от обвалов, противопаводковых мероприятий. Габионы заполняются любым каменным материалом. Это может быть булыжник, галька, карьерный камень. Выбранный материал должен иметь вес и все характеристики, соответствующие статическим и функциональным требованиям возводимого сооружения и срока его службы.

Слово «габион» заимствовано из французского языка, в строительство пришло из фортификации, где приобрело значение «корзина с камнями». Габионы использовали для «устройства крутостей высоких насыпей», укреплений для защиты от пуль и снарядов еще 200 лет назад. Сейчас это вполне мирный строительный элемент. Свыше 100 лет габионные конструкции применяются в области стабилизации грунтов и их защиты от различных эрозионных процессов. Наглядным свидетельством надежности и долговечности габионных конструкций является успешно работающее сегодня первое сооружение из цилиндрических габионов — дамба на р. Рено в пригороде г. Болонья, построенная еще в 1894 г. В течение многих десятилетий элементы грунта, проникая в структуру габионов, преобразовали ее в коренной берег реки, а прилегающая территория, прежде подвергавшаяся постоянным размывам, в настоящее время представляет собой парковую зону отдыха.

Габионные сооружения не только успешно конкурируют с бетонными и железобетонными, но и активно вытесняют их. В последние годы в России возрождается габионное строительство, за последнее десятилетие в разных городах и регионах, в частности в Москве, на МКАД, в Московской области, появились сотни подобных объектов (рис. 3—8).

Аккумулируя внутри себя частички грунта, габионные сооружения со временем приобретают максимальную прочность и устойчивость, становятся частью природного ландшафта, и срок их службы практически не ограничен.

Высокая *экологичность* габионов объясняется тем, что, сливаясь с окружающей средой, они представляют собой естественные строительные блоки из природных материалов, не препятствующих росту растительнос-

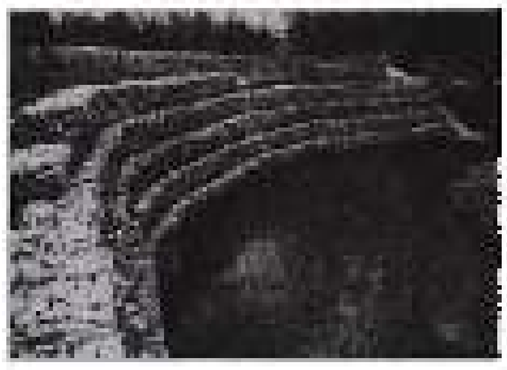


Рисунок 3
Укрепление пологого берега водоема



Рисунок 4
Укрепление берегов и портальной стенки у трубы



Рисунок 5
Укрепление крутого берега со смещением на глубину габиона



Рисунок 6
Вертикальная подпорная стенка вдоль дороги



Рисунок 7
Вертикальная подпорная стенка без смещения габионов



Рисунок 8
Укрепление портальной стенки

ти, способствуют процессам регенерации прилегающих ландшафтов, их флоры и фауны. В водной среде структура габионов позволяет живым организмам расселяться внутри самой конструкции и между камнями. Расширение их популяции и повышение концентрации улучшают качественный состав микрофауны биоценоза окружающей экосистемы (рис. 9—11).

Также исследования показали, что применение оцинкованной сетки, в том числе с пластиковой оболочкой, не оказывает негативного влияния на природную среду. Строительство габионных сооружений, которое осуществляется преимущественно вручную, без применения тяжелой техники, также не наносит серьезного вреда природе. Безусловно, очень важным для экологического баланса территории является беспрепятственная фильтрация воды через габионные сооружения.



Рисунок 9
Укрепление берегов реки



Рисунок 10
Укрепление бортов и дорожки вокруг фонтана



Рисунок 11
Укрепление в виде ступеней вокруг водоема

Экологичность — одно из основных, но не единственное свойство габионных конструкций. К таковым относятся также гибкость, прочность, водопроницаемость, поглощение шума, долговечность.

Гибкость обеспечивается наличием метрической сетки, позволяющей сооружению легко воспринимать осадку грунта. Даже сильный эрозионный размыв почвы в основании габионной конструкции приводит лишь к незначительным деформациям, не вызывая потери прочности и разрушения.

Высокая прочность и устойчивость обусловлены прекрасными качествами металлической сетки из проволоки двойного кручения: способностью выдерживать большие нагрузки (эрозионные, волновые, ледовые, давление грунтовых масс и др.) без разрушения; сочетанием гибкости с сильными структурными внутренними связями, превращающими конструкцию в единое целое. Особенностью габионных сооружений является то, что с годами их прочность возрастает вследствие естественной консолидации.

Водопроницаемость объясняется пористостью габионов, благодаря чему исключается возможность возникновения гидростатического давления на сооружение, что увеличивает его устойчивость; нет необходимости устанавливать дополнительный дренаж; не происходит разрыва связи между поверхностными и подземными водами; фильтрация воды в теле габионных сооружений способствует быстрому развитию растительности на них.

Долговечность. Проводившиеся до настоящего времени эксперименты и натурные наблюдения дают основание предположить, что при условии правильного проектного решения срок их службы практически не ограничен (если не рассматривать такие экстремальные ситуации, как катастрофические землетрясения, сели, горные обвалы и т. д.). Более того, процесс консолидации габионных конструкций и примыкающей к ним грунтовой толщи способствует с течением времени усилению их прочности и устойчивости.

Долговечность габионов обусловлена значительным превышением срока службы металлической оцинкованной сетки над периодом консолидации габионов. Стальная проволока, покрытая гальфаном и пластиком, даже в достаточно агрессивной среде сохраняется более 100 лет.

Рассматриваемые технологии имеют также ряд других особенностей, доказывающих существенное преимущество габионных конструкций по сравнению с традиционными инженерными решениями:

— отсутствие необходимости оборудования специальных дренажных устройств;

— использование геотекстиля вместо традиционных песчано-гравийных фильтров;

— незначительный объем работ по подготовке основания габионных сооружений (достаточно простого выравнивания поверхности);

— использование обычной строительной техники без применения дорогостоящих специальных механизмов;

— снижение расходов на эксплуатацию и ремонт.

В последние годы габионы используют не только на крупных городских или федеральных объектах, но и для обустройства территорий частной загородной застройки: для возведения подпорных стенок, водоотведения, берего- и руслоукрепления водоемов и водотоков и других работ по инженерной защите и благоустройству территорий.

Поступила 16.03.08

ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В КАПИТАЛЬНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А. В. Дергунова

В статье приводятся различные подходы к пониманию инноваций в сфере строительства, классификация инноваций по ряду признаков. Рассматривается сущность инновационного процесса в строительной отрасли. Обозначены этапы развития научно-технического комплекса в России.

Одно из основных условий успешного функционирования строительно-монтажных организаций в рыночных условиях — внедрение инноваций (нововведений) во всех сферах деятельности, таких как техническое перевооружение и модернизация производства, внедрение передовых технологий и методов выполнения работ, освоение высокопроизводительного оборудования, совершенствование системы управления и др.

Известно несколько подходов к определению сущности инновации, которые можно свести к пяти основным подходам определения инновации:

— объективному (в отечественной литературе в качестве определяемого термина часто используется «нововведение»);

— процессному;

— объективно-утилитарному;

— процессно-утилитарному;

— процессно-финансовому.

Объективный подход — в качестве инновации выступает объект — результат НТП: новая техника, технология.

Процессный подход — под инновацией понимается комплексный процесс, включающий разработку, внедрение в производство и коммерциализацию новых потребительских ценностей — товаров, техники, технологии, организационных форм и т. д.

Объективно-утилитарный подход к определению термина «инновация» характеризуется двумя основными моментами: в качестве инновации понимается объект — новая потребительская стоимость, основанная на достижениях науки и техники; акцент делается на утилитарной стороне инновации — способности удовлетворить общественные потребности с большим «полезным эффектом».

Процессно-утилитарный подход к определению термина «инновация» отличается от объективно-утилитарного тем, что инновация представляется как комплексный процесс создания, распространения и использования нового практического средства.

Процессно-финансовый подход — под «инновацией» понимается процесс инвестиций в новации, вложение средств в разработку новой техники, технологии, научные исследования.

По определению, данному в «Концепции инновационной политики Российской Федерации на 1998—2000 годы», инновация — конечный результат инновационной деятельности, получивший реализацию в виде нового или усовершенствованного продукта, реализуемого на рынке, нового или усовершенство-

ванного технологического процесса, используемого в практической деятельности.

Инновации классифицируются:

— по области применения: управленческие, организационные, социальные, промышленные и т. д.;

— по этапам НТП: научные, технические, технологические, конструкторские, производственные, информационные;

— по степени интенсивности: всеобщие, массовые, частные;

— по темпам их осуществления: быстрые, замедленные, затухающие, нарастающие, равномерные, скачкообразные;

— по масштабам: трансконтинентальные, транснациональные, региональные, крупные, средние, мелкие;

— по результативности: с высокой, низкой, стабильной результативностью;

— по эффективности: экономические, социальные, экологические, интегральные.

Анализ различных точек зрения позволяет дать общее определение: инновация — практическое использование результатов научных исследований, направленных на совершенствование производственного процесса, экономических, юридических и социальных отношений во всех сферах деятельности общества.

Разные виды инноваций находятся в тесной взаимосвязи и предъявляют специфические требования к инновационному механизму. Так, технические и технологические инновации, влияя на содержание производственных процессов, создают условия для управленческих инноваций, приводя изменения в организацию производства.

Методология описания инноваций в условиях рыночной экономики базируется на международных стандартах, рекомендации по которым приняты в Осло в 1992 г. и получили название «Руководство Осло». Они разработаны применительно к технологическим инновациям и охватывают новые продукты и процессы, а также их значительные технологические изменения. Инновация считается осуществленной, если она используется на рынке или в производственном процессе.

Выделяют два типа технологических инноваций: продуктовые и процессные.

Продуктовые инновации охватывают внедрение новых или усовершенствованных продуктов. Процессные инновации — организация и освоение производства новой или значительно усовершенствованной продукции, выпуск которой невозможен при использовании имеющегося оборудования или применяемых методов производства.

Отметим разницу американской и японской систем инноваций: в США треть всех инноваций относится к процессным, две трети — к продуктовым; в Японии соотношение обратное.

Инновационный процесс — последовательное преобразование научного знания в инновацию, т. е. цепь событий, в ходе которых инновация вызревает от идеи до конкретного продукта, технологии или услуги и распространяется при практическом использовании на коммерческой основе.

В отличие от научно-технического прогресса инновационный процесс не заканчивается так называемым внедрением — первым появлением на рынке нового продукта, услуги или доведением до проектной мощности новой технологии. Данный процесс не прерывается и после внедрения, ибо по мере распространения (диффузии) новшество совершенствуется, делается более эффективным, приобретает новые потребительские свойства. Это открывает для него новые области применения, новые рынки, а следовательно, и новых потребителей, которые воспринимают данный продукт, технологию или услугу как новые именно для себя. Таким образом, этот процесс направлен на создание требуемых рынков продуктов, технологий или услуг и осуществляется в тесном единстве со средой: его направленность, темпы, цели зависят от социально-экономической среды, где он функционирует и развивается.

Жизненный цикл инновации — период, который начинается с выполнения теоретических и производственных инноваций и включает последующую разработку, освоение и применение новой научно-технической идеи, улучшение технико-экономических параметров выпускаемой техники, ее ремонтное и иное обслуживание, а заканчивается моментом, когда эта техника подлежит замене качественно новой, более эффективной.

Каждое звено жизненного цикла относительно самостоятельно, имеет определенные закономерности, выполняет специфическую роль. Исходным и определяющим пунктом этого цикла является наука, которая генери-

рует идеи; техника — следующее звено — материализует эти идеи в определенной системе машин и соответствующей технологии; производство представляет сферу использования научно-технических достижений. Центральными этапами в жизненном цикле являются освоение новой техники и организация ее широкого выпуска. Эти этапы играют решающую роль в материализации и в применении в народном хозяйстве научных открытий. Поэтому их в широком смысле можно назвать внедрением новой техники в производство. Жизненный цикл продукции имеет временные, трудовые и стоимостные оценки, используемые для организации планирования, финансирования и использования научно-технических достижений.

По результатам анализа публикаций по данной тематике целесообразно выделять основные инновационные процессы:

— подготовка проекта;
— фундаментальные исследования;
— прикладные исследования;
— опытно-конструкторские разработки;
— серийное производство.

Инновационный процесс охватывает цикл отработки научно-технической идеи до ее реализации на коммерческой основе. Инновационные процессы в большей степени, чем другие элементы, связаны с рыночными отношениями. Основная масса инноваций реализуется в рыночной экономике предпринимательскими структурами как средство решения производственных и коммерческих задач. Следовательно, инновации ориентированы на рынок, на конкретного потребителя или потребность. Таким образом, инновационный процесс определяется как комплекс последовательных работ от получения теоретического знания до использования потребителем товара, созданного на основе нового знания.

Понятие «инновационный цикл» предполагает наличие обратной связи между потребителем нового товара и научной сферой. Инновационные циклы могут быть разной протяженности в зависимости от того, к какой стадии научного поиска потребитель обращается за совершенствованием способа удовлетворения потребности.

В условиях рыночной экономики в основу инновационной деятельности положена реализация конкретных проектов, каждый из которых состоит из нескольких фаз (получение знаний, их коммерческая реализация и возврат инвестиционных средств), совокупность которых представляет инновационный цикл. При этом инновационный цикл является замкнутым в том смысле, что позволяет провести необходимые исследования и разработки, используя финансовые ресурсы инвестора, а после завершения и коммерческой реализации средства вернуть и в дальнейшем снова инвестировать в инновационный процесс. Таким образом, инновационный цикл превращается в инновационно-инвестиционный.

Предлагается следующая классификация инновационных процессов, использование которой позволит оценивать их конкретнее, полнее, объективнее, более комплексно оценивать их результативность, определять направление инновационного процесса, подбирать методы управления инновациями, адекватные особенностям каждого инновационного процесса.

Инновационная деятельность характеризуется ее объектами и субъектами. Объекты инновационной деятельности — разработки техники и технологий ИП, находящихся на территории России,независимо от организационно-правовой формы и формы собственности. Субъекты инновационной деятельности — юридические лица независимо от организационно-правовой формы и формы собственности, физические лица РФ, иностранные организации и граждане, а также лица без гражданства, участвующие в инновационной деятельности. Права субъектов гарантируются Конституцией Российской Федерации.

Среди субъектов могут быть и инноваторы. Инноватор — автор инновации (открытия, изобретения, полезной модели, проектного решения, рацпредложения, ноу-хау, промышленного образца или иного вида инновации).

В СССР существовал научно-технический комплекс, характеризовавшийся широтой фронта исследований, высоким уровнем милитаризации, монополизма и ведомственности, слабостью связей с высшим образованием, неспособностью к восприятию рыночных инновационных механизмов, а также неразвитостью связей с мировым научным прогрессом.

В 1991—1992 гг. научно-технический комплекс был исключен из числа областей, тре-

бующих наибольшего внимания со стороны государства. Причина заключалась в том, что наука не рассматривалась в качестве инструмента решения организационно-экономических задач, находившихся в центре внимания правительства: финансовой стабилизации, преодоления стагнации, перехода на рыночные механизмы хозяйствования. Кроме того, изменения в военно-политической сфере привели к снижению интереса государства к оборонному комплексу в целом и науке, работающей на оборону, в частности. Таким образом, приоритетное финансирование научно-техниче-ской сферы превратилось в остаточное.

Можно говорить о крайне низкой инновационной активности российских предприятий, поскольку в странах Европейского союза показатель, аналогичный тому, который рассчитывается Центром изучения стратегических напрёвлений (ЦИСН), составляет 53 %, а в США — 33 %. Некоторый рост инновационной активности к концу 1990-х гг. можно, видимо, объяснить тем, что массовая приватизация промышленных предприятий, при которой было выгодно занижать стоимость приватизируемых активов, практически закончилась. Кроме того, после кризиса 1998 г. возникли новые макроэкономические условия, оказавшие благоприятное воздействие на инновационную деятельность предприятий, особенно тех, которые были ориентированы на российский рынок. У таких предприятий резко возросла конкурентоспособность продукции по сравнению с импортной. Те предприятия, которые работали на международный рынок, в относительно малой мере смогли использовать новые возможности. То же касается предприятий, работающих на импортном сырье (особенно на не имеющем российских аналогов). Для них ситуация резко ухудшилась.

Исследования показали, что финансовый кризис дал толчок развитию производства экспортной продукции с целью расширения конкурентоспособности на мировом рынке. Кроме того, усилился интерес предприятий к использованию отечественной техники: они стали более активно искать отечественных производителей техники или запасных частей для импортного оборудования.

Соотношение показателей износа и возрастной структуры основного капитала является яркой иллюстрацией настоятельной необходимости активизации процессов обновления. Машиностроение по уровню использования производственных мощностей остается на одном из последних мест среди отраслей промышленности. Ситуация усугубляется и тем обстоятельством, что при несоответствии рыночным критериям качества продукции машиностроение не в состоянии достичь необходимого уровня ее продаж, который обеспечил бы средства для массированных инвестиций в обновление собственных производственных мощностей.

Поступила 18.10.05.

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕНЫ ЖИЛИЩНОГО ИПОТЕЧНОГО КРЕДИТА

А. В. Сураева-Королева

В статье рассматриваются вопросы, связанные с ценой ипотечного кредита, в качестве которой выступают не только процентная ставка, но и ряд дополнительных платежей заемщика. Автор классифицирует факторы, влияющие на цену кредита, на факторы спроса (доходы населения, количество домохозяйств, инфляция) и факторы предложения.

Под ценой любого кредита мы всегда подразумеваем процентную ставку за пользование кредитными или заемными ресурсами. Особенностями ипотечного кредита являются его долгосрочность, надежность обеспечения и значительный объем (в классическом варианте — до 70 % стоимости недвижимости). Эти особенности явились причиной возникновения дополнительных расходов при оформлении ипотечного кредита.

Процент — одна из наиболее важных и в то же время трудных для понимания (прежде всего из-за многообразия проявлений) категория рыночного хозяйства; экономическая реализация собственности на деньги в виде получения дохода от владения деньгами как таковыми без окончательной их затраты и превращения в какие-то иные, реальные ценности. Это возможно лишь при временной переуступке собственности на деньги (передаче их во временное пользование другому субъекту). Процент за кредит фиксирует отношения кредитора и заемщика. Каждого субъекта этих отношений (будь то кредитор либо заемщик) в ссуде интересует потребительная стоимость ссужаемой вещи. Оплачивая ее, заемщик выражает данную потребительную стоимость денежным эквивалентом — ценой, равно как кредитор в виде процента получает денежный эквивалент отчуждаемой собственности. Адекватная цена любого, а не только ипотечного кредита со стороны заемщиков обеспечивает максимальное удовлетворение их потребностей, а со стороны кредитора максимизирует его прибыль.

Цена любого товара, в том числе и денег, складывается под воздействием различных факторов:

— экономических;

— политических;

— социальных;

— психологических.

Являясь экономической категорией, цена жилищного ипотечного кредита складывается под воздействием прежде всего рыночных факторов:

— факторов спроса;

— факторов предложения.

Прежде чем рассмотреть их состав, необходимо заметить, что мы имеем дело с функциональными, а не причинно-следственными связями, т. е. однозначной фиксации следствия и причины в формировании цены нет и быть не может. Цена выступает как результат (функция) взаимодействия сил спроса и предложения (аргумент функции), способна сама выступать в роли фактора (аргумента), определяющего спрос (предложение) как функцию.

На рис. 1 показано изменение цены вследствие изменения объема спроса.

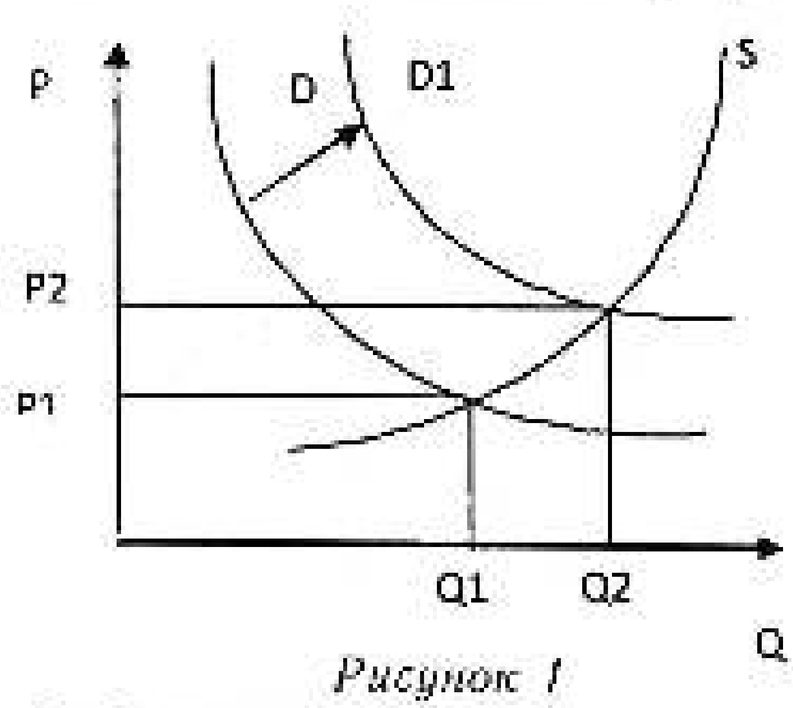


Рисунок 1

График изменения величины спроса

В результате воздействия неценовых факторов произошло увеличение объема спроса от положения *D* к положению *D*1. Следствием такого изменения стал рост цен, а в

няшей ситуации — рост процентных ставок. Неценовыми факторами являются:

— изменение вкусов потребителей;

— изменение числа потребителей;

— изменение доходов покупателей;

— изменение цен на сопряженные товары;

— изменения в ожиданиях потребителей.

Изменение спроса в результате изменения цены показано на рис. 2.

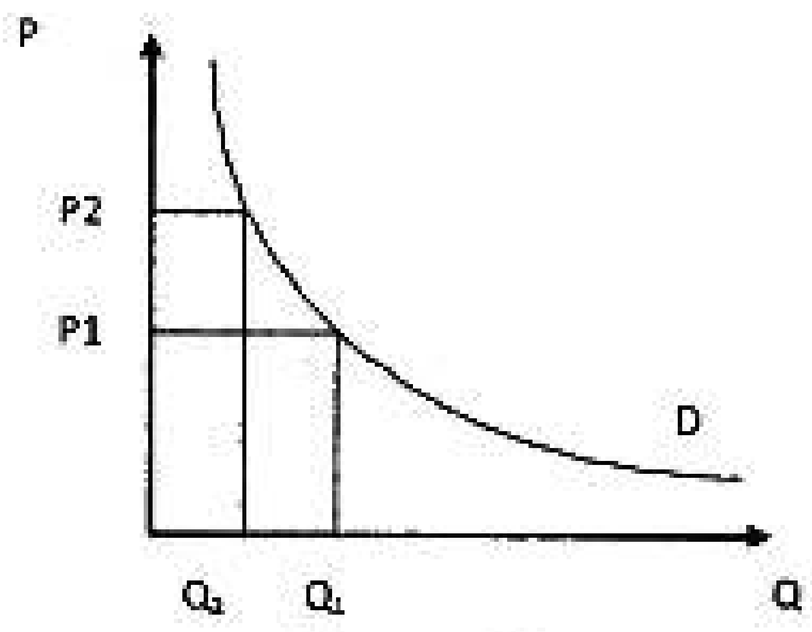


Рисунок 2
График изменения спроса в результате изменения цены

Оперируя такими экономическими категориями, как спрос и предложение, попробуем дать им определение. Спросом на экономическое благо, каким, несомненно, является кредит, называется готовность, т. е. желание и способность потребителей купить его (взять и вернуть кредит) в том или ином количестве по той или иной цене (оплатить тот или иной процент) за определенный период времени. Таким образом, спрос на ипотечные кредиты определяется как психологическими факторами (например, способностью жить в долг), так и экономическими: уровнем дохода, инфляционными ожиданиями потенциальных заемщиков, а также альтернативной ценностью (стоимостью) для них денежных ресурсов из других источников.

В свою очередь предложение экономического блага (кредита) есть готовность, т. е. желание и способность продавцов (кредиторов) продать (выдать) его в том или ином количестве по той или иной цене за определенный период времени. Таким образом, предложение ипотечных кредитов зависит как от психологических факторов, например, от готовности банков (кредиторов) кредитовать физических лиц под залог жилой недвижимости, так и от экономических факторов.

Предложение жилищного ипотечного кредита определяется ценой привлеченных денежных средств, величиной дохода от альтернативных способов размещения временно свободных денежных средств, существующими моделями ипотечного жилищного кредитования (в рамках моделей — применяемыми инструментами ипотечного кредитования); государственной политикой; налогообложением и субсидированием ипотечных операций банка, процентной политикой государства.

Факторы спроса

Величина доходов населения. Величина доходов населения является важнейшим фактором, определяющим готовность домохозяйства (семей) воспользоваться ипотечным кредитом. В отношении влияния этого фактора все достаточно просто: чем выше доходы, тем выше готовность взять и вернуть кредит. Но это одна сторона медали. Дело в том, что в экономической теории доход домохозяйств распадается на две составляющие:

— текущее потребление;

— сбережения.

Доход (I) = потребление (C) + сбережения (S).

С одной стороны, имеющиеся сбережения повышают кредитоспособность потенциального заемщика, которая выявляется на этапе предварительного андеррайтинга. С другой стороны, при наличии в экономике весьма ощутимого фактора сбережений идеальной с точки зрения соответствия состоянию общего экономического равновесия будет ситуация, когда все сбережения полностью аккумулируются и мобилизуются существующими финансовыми институтами, а затем направляются на инвестирование. Поэтому в ситуации роста доходов населения этот фактор превращается в фактор предложения.

Политика привлечения свободных денежных ресурсов должна реализоваться не только на уровне кредитора, но и на уровне общегосударственной политики. Ее основу должна составлять гарантия всем экономическим субъектам накопительного процесса — получение прибыли. Мировой опыт показывает, что правильно проводимая политика в области сбережений, помимо увеличения инвестиционных средств, непосредственно способству-

ет как общей стабилизации, так и снижению процентной ставки по кредитам вследствие увеличения объемов кредитования.

Если рассматривать эту ситуацию на микроэкономическом уровне, то можно сказать, что андеррайтинг может выявить потенциальную возможность заемщика накопить недостающую сумму для первоначального взноса (накопительный андеррайтинг).

Важным дополнением к характеристике этого фактора будет то, что уровень доходов, которые семья способна направить на погашение ипотечного кредита, в значительной мере зависит от субсидирования застройщиков и льгот по налогу на доходы физических лиц, определяемых государством.

Количество домохозяйств увеличивает спрос на ипотечные кредиты, что при прочих равных условиях ведет к повышению процентной ставки. Это происходит по следующим причинам:

1) в короткие сроки невозможно обеспечить быстрый прирост жилищного фонда;

2) скопление в том или ином регионе мигрированного населения.

Все это создает дополнительный спрос на жилье, а значит, и производный от него спрос на ипотечные кредиты.

Воздействие инфляции на цену кредитных ресурсов, как правило, приводит к ее росту. Особенное значение во влиянии инфляции на цену ипотечного кредита имеет то, в какой сфере зарождается рост цен. Например, повышение цен на конечную продукцию (для нас это недвижимость) вызывает увеличение издержек производства. В результате предприятия оказываются не в состоянии за счет собственных средств оплачивать приобретение сырья, оборудования и т. д. и вынуждены обращаться в банк за кредитом. Ограниченность свободных ресурсов в банке, с одной стороны, обусловливает развитие кредитных отношений, с другой — способствует увеличению цены кредита. Процентные ставки за пользование кредитом возрастают. Приобретаемые за счет подорожавшего кредита ресурсы приводят к увеличению себестоимости продукции.

Таким образом, высокие темпы роста цен на готовую продукцию способствуют поддержанию постоянного спроса на кредитные ресурсы, а следовательно, и высокой цены на кредит. Растущие процентные ставки кредитования предприятий выступают альтернативными ценами размещения кредитных ресурсов, создавая для банков тенденцию к росту процентных ставок по ипотечным кредитам.

Факторы предложения

Факторы предложения, оказывающие влияние на формирование цены ипотечного жилищного кредита, можно классифицировать следующим образом:

— внешние факторы (формируются в рамках общеэкономической ситуации);

— внутренние факторы (формируются в рамках кредитора).

Ставка рефинансирования Центрального банка Российской Федерации играет важную роль в формировании цены кредита со стороны предложения. Это влияние выражается в прямом государственном воздействии, направленном на регулирование макроэкономических процессов (реализация политики дорогих и дешевых денег) и отражается на величине альтернативной стоимости размещения денежных ресурсов.

Процентная политика, проводимая государством, оказывает непосредственное влияние на то, какая модель ипотечного жилищного кредитования начинает формироваться. Все существующие модели можно разделить на следующие группы:

1) усеченно-открытая;

2) расширенно-открытая;

3) сбалансированно-автономная.

Первая модель замыкается в рамках первичного рынка закладных. Использование закладных, полученных кредитором, не идет дальше употребления их в качестве обеспечения части привлекаемых внешне финансовых ресурсов. Такое положение позволяет говорить о том, что в этой модели наблюдается прямая зависимость процентных ставок по ипотечным ссудам от общего состояния финансово-кредитного рынка в стране. Эта зависимость может оказывать существенное влияние на масштабы и активность банков по ипотечному кредитованию в отдельные благоприятные и неблагоприятные периоды. Отличием этой модели от «расширенно-открытой» является то, что в ней действует минимальное число специализированных агентов. Применение такой модели продиктовано неразвитостью финансово-кредитного рынка,

рынка ценных бумаг и прочих специализированных рынков.

В «расширенно-открытой» модели основной приток кредитных ресурсов в систему ипотечного кредитования поступает со специализированного, вторичного рынка ценных бумаг, обеспеченных закладными на недвижимость. Реализация подобной модели может быть обеспечена лишь при условии создания расширенной инфраструктуры такого рынка.

Будучи открытой и ориентированной на получение кредитных ресурсов со свободного рынка капиталов, данная модель очень сильно подвержена существенному влиянию общего состояния финансово-кредитного рынка. Поэтому такие модели могут применяться только в странах с очень устойчивой экономикой.

Попробуем составить сравнительную оценку воздействия отдельных факторов при реализации «расширенно-открытой модели».

Из приведенных данных видно, что цена ипотечного кредита в России может составлять от 13 до 24 %. Для заемщика подобная цена кредитных ресурсов может быть слишком высокой, причем помимо высокой цены на него ложится бремя возврата подобного кредита.

Ключевым отличительным признаком «сбалансированно-автономной» модели (системы стройсбережений) является сберегательно-ссудный принцип ее функционирования. При таком принципе совокупный портфель кредитных ресурсов не заимствуется на рынке капиталов, а целенаправленно формируется за счет привлечения сбережений будущих заемщиков. При реализации подобной модели у ипотечного банка уже не стоит вопрос, где и по какой цене найти кредитные ресурсы. Необходимо лишь установить разумную маржу за услуги. Ставки дохода по вкладам стройсбережений и ставки процентов за пользование кредитом могут быть установлены на произвольном уровне самим кредитором. Таким образом, модель становится независимой не только от колебаний рыночной цены заемных ресурсов, но и от общего уровня этой цены вообще.

Поступила 16.10.08.

К внешним факторам можно отнести:

— инструменты ипотечного кредитования;

— риски, которые принимает на себя кредитор (риск процентной ставки, кредитный риск, риск досрочного погашения платежа).

Помимо вышеперечисленных рыночных факторов, которые оказывают прямое влияние на процесс формирования цены жилищного ипотечного кредита, можно выделить административные факторы (факторы в руках различных уровней власти). От них в наибольшей степени зависит степень развития кредитной и налоговой систем, в свою очередь выступающих косвенными факторами формирования цены ипотечного кредита.

Наряду с прямыми затратами, связанными с оплатой процентов за кредит и возвратом основной суммы долга, заемщик несет накладные расходы. Очевидно, что за сложные операции, которые требуют аналитических навыков и знаний экспертов, будут взиматься премии. Такие выплаты непосредственно могут не включаться в назначенную ставку процента, но все же внесут свой вклад в цену кредита с точки зрения заемщика. К таким расходам необходимо отнести:

— расходы, связанные с государственной регистрацией залога (ипотеки) приобретаемого жилого помещения;

— расходы, связанные с оценкой недвижимого имущества независимыми оценщиками, для определения ее рыночной (залоговой) стоимости;

— расходы, связанные со страхованием недвижимости, жизни и трудоспособности заемщика;

— прочие расходы (нотариальные расходы, риелторская комиссия и др.).

В итоге накладные расходы могут привести к значительному увеличению (до 5—10 % стоимости жилья) конечной цены ипотечного кредита.

На наш взгляд, для массового развития рынка ипотечного кредитования в России необходим государственный контроль, прежде всего за накладными расходами при оформлении сделок, а также стимулирование первичных кредиторов к снижению процентной ставки.

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ КОДЕКС И СОВРЕМЕННОЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В. И. Римшин, Р. Х. Бикбов, В. Ф. Сушков, Л. И. Шубин, Е. А. Омельченко

В статье анализируется принятый недавно Градостроительный кодекс Российской Федерации — правовое содержание норм, регламентирующих рассмотрение и утверждение документов в органах исполнительной власти. Сравниваются некоторые нормы старой и новой редакций кодекса. Вносятся предложения по уточнению статей, касающихся территориального планирования.

Подготовка проектов схем территориального планирования Российской Федерации осуществляется на основании результатов инженерных изысканий в соответствии с требованиями технических регламентов, с учетом федеральных программ в области государственного, экономического, экологического, социального, культурного и национального развития Российской Федерации, положений о территориальном планировании, содержащихся в документах территориального планирования субъектов РФ, документах территориального планирования муниципальных образований, а также с учетом предложений заинтересованных лиц.

Состав, порядок подготовки проектов схем территориального планирования Российской Федерации, а также порядок внесения изменений в них устанавливаются Правительством Российской Федерации.

В соответствии с положениями Закона РФ «О государственной тайне» сведения о дислокации, назначении, степени готовности, защищенности режимных и особо важных объектов, их проектировании, строительстве и эксплуатации, а также об отводе земель, недр и акваторий для этих объектов входят в перечень сведений, составляющих государственную тайну. Поэтому состав, порядок подготовки, порядок согласования проектов схем территорнального планирования Российской Федерации, включающих карты (схемы) планируемого размещения объектов обороны и безопасности, порядок внесения изменений в такие документы, особенности их опубликования устанавливаются с учетом требований законодательства Российской Федерации в области обороны и законодательства Российской Федерации о государственной тайне. Проекты схем территориального планирования Российской Федерации до их утверждения согласовываются с органами государственной власти субъектов РФ.

Заметим, что нормы о согласовании указанных проектов, установленные в Градостроительном кодексе, на наш взгляд, не вполне удачно сформулированы. В соответствии с ч. 4 ст. 11 Градостроительного кодекса проекты схем территориального планирования Российской Федерации до их утверждения подлежат обязательному согласованию с заинтересованными органами исполнительной власти субъектов РФ в порядке, установленном ст. 12 Градостроительного кодекса. В соответствии же с ч. 1 ст. 12 Градостроительного кодекса проект схемы территориального планирования Российской Федерации подлежит согласованию с высшими исполнительными органами государственной власти субъекта РФ в случаях, если предложения, содержащиеся в указанном проекте, предполагают изменение существующих или в соответствии с документами территориального планирования субъекта РФ планируемых границ земель сельскохозяйственного назначения, границ земель особо охраняемых природных территорий регионального значения, границ земельных участков, находящихся в собственности субъекта РФ, границ территорий объектов культурного наследия, границ зон планируемого размещения объектов капитального строительства регионального значения. Согласованию также подлежат вопросы размещения объектов капитального строительства федерального значения, которые могут оказать негативное воздействие на

окружающую среду на территории субъекта РФ. Иные вопросы не могут подлежать согласованию в связи с подготовкой проекта схемы территориального планирования Российской Федерации.

Разница в правовом содержании приведенных норм очевидна.

В первом случае речь идет об обязательном согласовании проектов схем территориального планирования Российской Федерации. Во втором случае эти проекты подлежат согласованию лишь при вышеуказанных условиях. В первом случае согласующими субъектами являются «заинтересованные органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации», во втором — «высшие исполнительные органы государственной власти субъекта Российской Федерации».

Часть 1 ст. 17 Федерального закона от 6 октября 1999 г. 184-ФЗ «Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации» устанавливает, что в субъекте РФ существует система органов исполнительной власти во главе с высших исполнительным органом государственной власти субъекта РФ, возглавляемым руководителем высшего исполнительного органа государственной власти субъекта РФ. Поэтому к «заинтересованным органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации» могут относиться, например, органы, отвечающие за формирование градостроительной политики в субъекте РФ, или органы, предметом ведения которых являются те сферы деятельности, в области которых осуществляется подготовка проекта схемы территориального планирования на федеральном уровне. Например, проект схемы территориального планирования в области использования и охраны лесного фонда Российской Федерации мог бы согласовываться с министерствами (департаментами, управлениями) лесных ресурсов субъектов РФ. Таким образом, содержание понятия «заинтересованные органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации» отличается от содержания понятия «высшие исполнительные органы государственной власти субъектов Российской Федерации».

В Градостроительный кодекс не включено поручение Правительству РФ разработать порядок согласования проектов схем территориального планирования Российской Федерации с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти. Если закон истолковать буквально, получится, что согласовывать указанные проекты могут только высшие органы исполнительной власти субъектов РФ (в установленных Градостроительным кодексом случаях) и органы местного самоуправления (об этом ниже).

Прежний Градостроительный кодекс четко определял, что проекты Генеральной схемы и консолидированных схем разрабатываются и согласовываются в порядке, установленном Правительством Российской Федерации. В свою очередь и в Основных требованиях к разработке и согласованию Генеральной схемы расселения на территории Российской Федерации и Основных положений Генеральной схемы расселения на территории Российской Федерации, и в Основных требованиях к разработке и согласованию консолидированных схем градостроительного планирования и основных положений консолидированных схем градостроительного планирования указано, что названные проекты документов должны были согласовываться с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти и организациями по вопросам, входящим в их компетенцию.

В новом Градостроительном кодексе о согласовании проектов схем территориального планирования с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти говорится только применительно к документам территориального планирования, включающим карты (схемы) планируемого размещения объектов обороны и безопасности.

В то же время сложно представить ситуацию, при которой разработанный одним из федеральных органов исполнительной власти документ не проходил бы процедуры согласования с иными заинтересованными федеральными органами исполнительной власти. Следовательно, необходимо вносить изменения в Градостроительный кодекс, дополняя ч. 12 ст. 11 нормой об установлении Правительством Российской Федерации порядка согласования проекта схемы территориального планирования Российской Федерации. Если же эта норма будет реализована по умолчанию непосредственно в документе Правительства

Российской Федерации, которым установятся состав, порядок подготовки и порядок внесения изменений в указанный проект, формально это станет нарушением положения Градостроительного кодекса.

По нашему мнению, в Градостроительный кодекс необходимо внести изменения, уточняющие порядок согласования проекта схемы территориального планирования Российской Федерации. Согласовывать проекты схем территориального планирования Российской Федерации необходимо в высших органах исполнительной власти субъекта РФ (при обстоятельствах, перечисленных выше) и органах местного самоуправления. Срок согласования проекта схемы территориального планирования Российской Федерации не может превышать трех месяцев со дня его направления на согласование в высшие исполнительные органы государственной власти субъектов РФ, применительно к территориям которых подготовлен проект такой схемы территориального планирования, или на территории которых может оказать негативное воздействие планируемый для размещения объект капитального строительства федерального значения.

Непоступление от высшего исполнительного органа государственной власти субъекта РФ в установленный срок сводного заключения на указанный выше проект рассматривается как согласие названного органа государственной власти субъекта РФ с проектом схемы территориального планирования Российской Федерации.

Высший исполнительный орган государственной власти субъекта РФ направляет проект схемы территориального планирования Российской Федерации в органы местного самоуправления муниципальных образований, применительно к территориям которых подготовлен этот проект.

Органы местного самоуправления рассматривают проект схемы территориального планирования Российской Федерации в части учета в предложениях, содержащихся в указанном проекте, положений о территориальном планировании, содержащихся в документах территорнального планирования муниципальных образований, учета правил землепользования и застройки, предложений об изменении границ земельных участков, находящихся в муниципальной собственности. Согласованию также подлежат вопросы размещения объектов капитального строительства федерального значения, которые могут оказать негативное воздействие на окружающую среду на территориях муниципальных образований.

Максимальный срок рассмотрения проекта схемы территориального планирования Российской Федерации и подготовки заключений на него органами местного самоуправления не может превышать 30 дней со дня получения проекта. При непоступлении заключений органов местного самоуправления в установленный срок проект схемы территориального планирования Российской Федерации считается согласованным с этими органами.

Высший исполнительный орган государственной власти субъекта РФ на основании заключений органов местного самоуправления готовит сводное заключение на проект схемы территориального планирования Российской Федерации, которое может содержать положение о согласии (несогласии) с проектом схемы территориального планирования Российской Федерации с обоснованием принятого решения.

Если один или несколько субъектов РФ представят сводные заключения, содержащие положении о несогласии с проектом схемы территориального планирования Российской Федерации с обоснованием принятого решения, в течение 30 дней со дня истечения установленного срока согласования такого проекта принимается решение о создании согласительной комиссии. Максимальный срок работы согласительной комиссии не может превышать трех месяцев.

По результатам работы согласительная комиссия представляет:

1) документ о согласовании проекта схемы территориального планирования Российской Федерации и подготовленный для утверждения проект схемы территориального планирования Российской Федерации с внесенными в него изменениями. Эти материалы могут содержать предложения об исключении из проекта схемы территорнального планирования Российской Федерации материалов по несогласованным вопросам (в том числе путем их отображения на соответствующей карте (схеме) в целях фиксации несогласованных вопросов до момента их согласования); план

согласования указанных в п. 1 настоящей части вопросов после утверждения схемы территориального планирования Российской Федерации путем подготовки предложений о внесении в такую схему соответствующих изменений;

2) материалы в текстовой форме и в виде карт (схем) по несогласованным вопросам.

На основании документов и материалов, представленных согласительной комиссией, принимается решение об утверждении схемы территориального планирования РФ или отклонении проекта схемы территориального планирования Российской Федерации и направлении его на доработку.

Порядок согласования проекта схемы территориального планирования Российской Федерации, состав и порядок работы согласительной комиссии устанавливаются Правительством Российской Федерации.

При наличии материалов по несогласованным вопросам Правительство Российской Федерации может утвердить схему территориального планирования Российской Федерации, предусматривающую размещение объектов капитального строительства федерального значения.

Схемы территориального планирования Российской Федерации, включающие карты (схемы) планируемого размещения объектов обороны и безопасности, утверждаются с учетом требований законодательства Российской Федерации в области обороны и законодательства Российской Федерации о государственной тайне.

Одновременно с процессом согласования проект схемы территориального планирования Российской Федерации выносится на общественное обсуждение. Градостроительный кодекс предусматривает, что указанный проект подлежит опубликованию в порядке, установленном для официального опубликования нормативных правовых актов Российской Федерации. Опубликование осуществляется не менее чем за три месяца до его утверждения. Кроме того, проект схемы территориального планирования Российской Федерации может размещаться на официальном сайте Правительства Российской Федерации в сети Интернет.

Опубликованию подлежат проекты положений о территориальном планировании и проекты карты (схемы) или нескольких карт (схем), содержащиеся в схеме территориального планирования. Заинтересованные лица вправе представить предложения по опубликованным проектам. После утверждения схемы территориального планирования Российской Федерации подлежат опубликованию в установленном порядке.

В течение трех дней со дня их утверждения указанные схемы направляются в высшие исполнительные органы государственной власти субъектов РФ и органы местного самоуправления муниципальных образований, применительно к территориям которых они подготовлены.

Правообладатели земельных участков и объектов капитального строительства, если их права и законные интересы нарушаются или могут быть нарушены в результате утверждения схем территориального планирования Российской Федерации, вправе оспорить схемы территориального планирования Российской Федерации в судебном порядке.

Органы государственной власти Российской Федерации, органы государственной власти субъектов РФ, органы местного самоуправления, заинтересованные физические и юридические лица вправе представить предложения о внесении изменений в схемы территориального планирования Российской Федерации.

В течение трех месяцев со дня утверждения такой схемы Правительство Российской Федерации подготавливает и утверждает план реализации схемы территориального планирования Российской Федерации. В нем содержатся следующие сведения:

1) сроки подготовки документации по планировке территории для размещения объектов капитального строительства федерального значения, на основании которой определяются или уточняются границы земельных участков для размещения таких объектов;

2) сроки подготовки проектной документации и сроки строительства объектов капитального строительства федерального значения;

3) финансово-экономическое обоснование реализации схемы территориального планирования Российской Федерации.

Поступила 16.10.08.

ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ ГОРОДСКОГО ОКРУГА САРАНСК

В. Ф. Сушков

В статье рассматриваются основные мероприятия по экономии расходования ресурсов и снижению теплопотерь на примере ГО Саранск, а также по регулированию потребления энергоресурсов и воды. Автором приводится общая потребность в финансовых средствах на установку узлов учета и определяются источники финансирования программы. Автор приходит к выводу, что для обеспечения практической реализации проектов энергоресурсосбережения необходимо создать эффективный экономический механизм, включающий в себя рыночные стимулы и четкие меры по поддержке данных мероприятий.

В послании Главы Республики Мордовия Государственному собранию, озвученном 25 января 2008 г., говорится о необходимости уделения особого внимания проблемам энергосбережения и внедрения соответствующих технологий. Конечная цель энергоресурсосберегающей политики в жилищно-коммунальном хозяйстве — снижение издержек производства и себестоимости услуг предприятий жилищно-коммунального хозяйства и соответственно смягчение для населения процесса реформирования системы оплаты жилья и коммунальных услуг при переходе отрасли на режим безубыточного функционирования.

В настоящее время жилищно-коммунальному хозяйству городского округа Саранск в области энергоресурсосбережения необходимо акцентировать внимание на следующих направлениях:

1) экономия расходования ресурсов и снижение теплопотерь:

— тепловая изоляция, увеличение термического сопротивления ограждающих конструкций зданий;

— модернизация систем тепло- и водоснабжения;

— учет энергоресурсов и воды;

2) регулирование потребления энергоресурсов и воды.

К основным мероприятиям первого направления можно отнести:

— дополнительную тепловую изоляцию ограждающих конструкций;

— внедрение там, где это экономически целесообразно, децентрализованных источников теплоснабжения;

— снижение теплопотерь в инженерных сетях путем постепенного перехода на современные трубопроводы, в том числе на тепловые сети с пенополиуретановой изоляцией;

— оптимизацию режимов работы сетей тепло- и водоснабжения через внедрение систем автоматизированного управления и регулируемого привода насосных агрегатов, замену насосов с завышенной установленной мощностью;

— реконструкцию тепловых пунктов с применением эффективного тепломеханического оборудования (например, пластинчатых водонагревателей);

— применение в системах тепло- и водоснабжения вместо поверхностных теплообменников (бойлеров) трансзвуковых струйно-форсуночных аппаратов, совмещающих одновременно функции теплообменника и насоса и не содержащих вращающихся и трущихся частей;

— широкое использование аппаратуры контроля и диагностики состояния внутренней поверхности оборудования и систем тепло- и водоснабжения;

— применение новейших методов и технологий для очистки от отложений теплообменного оборудования, котлов, систем водоснабжения и скважин;

— замену изношенной запорной арматуры и санитарно-технических устройств в квартирах и индивидуальных домах;

— оптимизацию процессов горения в топках котлов и внедрение оптимальных графиков регулирования с использованием средств автоматики и контроля, перераспределение

тепловых нагрузок за счет кольцевания тепловых сетей;

— применение в котельных противодавленческих турбин, устанавливаемых параллельно дроссельному устройству, для выработки дополнительной электроэнергии;

— обеспечение режимов водоподготовки, запрет пуска в эксплуатацию котельных (как законченных новым строительством, так и после капитального ремонта оборудования), не оснащенных установками водоподготовки и не прошедших режимно-наладочных испытаний в установленные сроки;

— замену и прочистку сетей с применением новых методов прочистки;

— проведение режимно-наладочных работ в тепловых сетях и системах отопления и горячего водоснабжения зданий.

Использование нетрадиционных источников энергии должно рассматриваться как одно из перспективных направлений энергоресурсосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве, являющихся одновременно одним из аспектов решения экологических проблем.

Второе направление предусматривает обязательное применение приборов для учета и регулирования потребления энергоресурсов, которое предусмотрено Федеральным законом Российской Федерации «Об энергосбережении» от 3 апреля 1996 г. № 28-ФЗ (с изменениями от 5 апреля 2003 г. № 42-ФЗ и 18 декабря 2006 г. № 232-ФЗ), Гражданским кодексом Российской Федерации, а также Постановлением Правительства Российской Федерации «О повышении эффективности использования энергетических ресурсов и воды предприятиями и организациями бюджетной сферы» № 832 от 8 июня 1997 г.

Общая потребность субъектов Российской Федерации в приборах учета тепла и воды для оснащения всего жилищного фонда, объектов здравоохранения, образования и т. д. составляет более 130 млн шт. Из них для учета тепловой энергии необходимы около 24 млн теплосчетчиков, для учета горячей и холодной воды — свыше 66 млн водосчетчиков, для учета газа — более 40 млн счетчиков газа.

В настоящее время в городском округе Саранск из 1717 многоквартирных домов с центральным отоплением, обслуживаемых муниципальными предприятиями городского округа Саранск («Дирекция единого заказчика жилищно-коммунального хозяйства Ленинского района», «Дирекция единого заказчика жилищно-коммунального хозяйства Октябрьского района», «Дирекция единого заказчика жилищно-коммунального хозяйства Пролетарского района») только 133 многоквартирных дома (7,7 %) оборудованы общедомовыми приборами учета тепловой энергии.

Жильцы многоквартирных домов, не оборудованных приборами учета тепловой энергии, оплачивают потребленную тепловую энергию для целей отопления исходя из соответствующих нормативов, которые установлены органом местного самоуправления (решение Саранского городского Совета депутатов от 5 ноября 2002 г. № 220 «Об утверждении нормативов потребления по горячему водоснабжению и отоплению». Решением Совета депутатов городского округа Саранск от 24 июля 2008 г. № 125 утверждена Программа по установке общедомовых приборов учета тепловой энергии в многоквартирных домах городского округа.

Комплексный подход к реализации программы предполагает ряд мероприятий по каждому многоквартирному дому:

— обследование технического состояния и системы теплоснабжения многоквартирного дома;

— выполнение полного перечня работ по снижению потерь тепловой энергии в многоквартирном доме с подготовкой необходимой проектно-сметной документации;

— разработка проекта по установке общедомового прибора учета тепловой энергии по данному объекту;

— проведение анализа потребления тепловой энергии в многоквартирном доме;

— определение источника (источников финансирования проекта);

— установка и введение в эксплуатацию общедомового прибора учета тепловой энергии;

— заключение договора на сервисное обслуживание прибора учета.

Общая потребность в финансовых средствах на установку общедомовых приборов учета тепловой энергии в многоквартирных домах, обслуживаемых муниципальными предприятиями городского округа Саранск

(«Дирекция единого заказчика жилищно-коммунального хозяйства Ленинского района», «Дирекция единого заказчика жилищно-коммунального хозяйства Октябрьского района», «Дирекция единого заказчика жилищно-коммунального хозяйства Пролетарского района»), рассчитана исходя из средней стоимости одного прибора учета в размере 150 тыс. руб. с НДС, в том числе расходы непосредственно на узел учета — 88 тыс. руб. и расходы на его установку — 62 тыс. руб. (табл.).

Источниками финансирования программы являются средства собственников жилых помещений, средства муниципальных предприятий городского округа Саранск («Дирекция единого заказчика жилищно-коммунального хозяйства Ленинского района», «Дирекция единого заказчика жилищно-коммунального хозяйства Октябрьского района», «Дирекция единого заказчика жилищно-коммунального хозяйства Пролетарского района»), средства, предусмотренные муниципальной адресной программой по проведению капитального ремонта многоквартирных домов городского округа Саранск.

К первоочередным задачам относится также оснащение приборами учета вводов в здания и помещения, занимаемые организациями бюджетной сферы. В настоящее время во всех учреждениях Департамента по социальной политике городского округа Саранск установлены приборы учета коммунальных ресурсов. Благодаря этому экономия платежей за тепло и воду составила от 15 до 60 %.

На вводах в общественные здания следует также устанавливать регуляторы давления, сокращающие до минимума избыточные напоры, которые являются причиной нерациональных расходов воды из кранов и утечек из санитарно-технической арматуры.

В числе первоочередных мероприятий необходимо особо отметить создание системы, обеспечивающей повсеместную установку и обслуживание узлов учета, а также приборов регулирования потребления тепла, воды и других энергоресурсов.

Таблица

Финансовые средства, необходимые для установки узлов учета

Организация, обслуживающая жилищный фонд	Кол-во многоквартирных домов, в которых необходимо установить приборы учета, ед.	Количественная потребность в узлах учета, ед.	Стоимость установки одного узла учета, тыс. руб.	Потребность в финансовых средствах, тыс. руб.
Муниципальное предприятие городского округа Саранск «ДЕЗ ЖКХ Ленинского района»	593	591	150	88 650
Муниципальное предприятие городского округа Саранск «ДЕЗ ЖКХ Октябрьского района»	670	670	150	100 500
Муниципальное предприятие городского округа Саранск «ДЕЗ ЖКХ Пролетарского района»	319	361	150	54 150
Итого	1 582	1 622	450	243 300

Схемы организации учета должны разрабатываться для всех уровней потребления — тепловой район, жилой микрорайон, товарищество собственников жилья, жилой дом, квартира. Во всех случаях следует стремиться к минимизации парка приборов учета и к сокращению их номенклатуры. Выбор схем учета энергоресурсов и воды, а также средств измерения для использования на узлах учета должен осуществляться их владельцем по согласованию с тепло- и водоснабжающими организациями.

Для обеспечения практической реализации проектов энергоресурсосбережения в жилищно-коммунальной отрасли необходимо создать эффективный экономический механизм, включающий в себя рыночные стимулы и четкие меры по поддержке мероприятий по энергоресурсосбережению.

Поступила 16.10.08.

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

К ВОПРОСУ ОБ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМАХ ГРАФИЧЕСКОГО КОМПЬЮТЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

А. М. Асташов, Л. М. Ошкина, Г. М. Шипова, М. И. Ветчинников

В статье рассматривается состояние графического компьютерного образования в высшей школе. Проанализированы современные программные средства, используемые в компьютерной графике, выделены главные цели учебных курсов и проблемные моменты преподавания указанной дисциплины для студентов инженерных факультетов.

В условиях научно-технического перевооружения всех отраслей промышленности и производства возникает необходимость существенного реформирования образовательного процесса по подготовке инженеров различных специализаций, а также архитекторов и дизайнеров, способных создавать и реализовывать самые разнообразные проекты. Актуальность реформирования учебного процесса диктуется переходом экономики к высокотехнологичному и наукоемкому производству, ресурсосберегающим технологиям, базирующимся на массовом внедрении компьютерно-информационных технологий.

В данных условиях вопрос подготовки кадров для осуществления глобальной технологической перестройки промышленности является одним из наиболее важных и насущных. В связи с этим деятельность вузов, в том числе Мордовского государственного университета, являющегося основным поставщиком инженерных кадров для промышленности региона, должна быть тщательно проанализирована и скорректирована в соответствии с реалиями настоящего времени и международными стандартами.

Реформирование учебного процесса с целью обеспечения условий для формирования специалистов, способных успешно работать в современных условиях, должно осуществляться посредством:

— введения в учебные планы новых дисциплин или новых разделов в существующие курсы, ориентированных на применение информационных технологий;

— повышения уровня подготовки преподавательских кадров;

— наращивания соответствующей материально-технической и информационно-технологической базы вузов.

Элементы компьютерно-информационных технологий должны входить в качестве важных составных частей в большинство профильных изучаемых курсов. Так как обучение любого инженера и его последующая профессиональная деятельность связаны с использованием проектно-конструкторской документации, применение компьютерных технологий в дисциплинах, включающих в себя графические компоненты, должно стать обязательным явлением. На младших курсах инженерных факультетов обширным полем деятельности в данном направлении является преподавание дисциплин «Начертательная геометрия и черчение», «Инженерная графика». Необходимо отметить, что «Компьютерная графика» является самостоятельной учебной дисциплиной и должна изучаться на кафедрах графичес-

ких дисциплин после овладения студентами основ начертательной геометрии параллельно курсу инженерной графики.

В существующей системе инженерного образования основным технологическим компонентом остается ручная графика. Такие приемы выполнения и оформления чертежей, бесспорно, классические. Еще многие столетия назад человек пытался выражать технические мысли приемами ручного черчения. Однако темпы развития современного общества предполагают переход от рутинного ручного труда к более прогрессивным технологиям и более универсальным средствам проектирования и конструирования.

Существует большое количество программных средств (CAD/ CAM/ CAE), обеспечивающих совершенствование деятельности инженера или конструктора, повышение его производительности. Наибольшее распространение получили CAD-системы, так как для формирования специалиста необходимо ориентироваться на изучение наиболее простых проблемно-ориентированных программных комплексов, позволяющих быстро и эффективно решать практические задачи. В любом случае отбор информационно-технологических компонентов, программных комплексов является для преподавательского корпуса задачей непростой и ответственной.

В качестве базового графического программного обеспечения учебно-методические объединения Федерального агентства по образованию РФ рекомендуют программные продукты компании Autodesk (США), а также отечественные программные продукты группы компаний Consistent Software [1]. Выбор программного продукта для проведения учебных занятий должен учитывать реальное состояние дел в современной организации проектно-конструкторских работ.

Компания Autodesk является лидером в разработке систем автоматизированного проектирования, трехмерного моделирования и анимации. Графическая система AutoCAD (Автоматизированное компьютерное черчение и проектирование), разработанная компанией Autodesk, — практически мировой стандарт в области систем автоматизированного проектирования (САПР) для персональных компьютеров. На долю AutoCAD приходится более 60 % всех установленных в мире САПР. Межвузовские конференции кафедр графических дисциплин подтверждают тот факт, что подавляющее количество вузов России (примерно 80 %) работает с системой AutoCAD [1; 2].

Постоянно растущий интерес к AutoCAD объясняется тем, что в последние годы заказчики стали предъявлять требования к фирмам-проектантам по выпуску документации в электронном виде. Для чертежей, составляющих обычно большую часть проектной документации, формат *dwg*, применяющийся в системе AutoCAD, стал фактически всемирным стандартом. Более того, в договоры на разработку проекта все чаще включается пункт о создании трехмерной модели изделия или сооружения. Созданная модель формируется, дополняется и используется на всех этапах жизненного цикла — от маркетинговых исследований до эксплуатации и утилизации изделия. При необходимости по объемной модели получают любые чертежи в электронном виде. Сроки разработки проектов при этом существенно сокращаются. Большим преимуществом системы AutoCAD является возможность формирования электронных архивов чертежно-конструкторской, технологической и эксплуатационной документации. Каждый из созданных таким образом файлов легко редактируется, что позволяет быстро получать чертежи-аналоги по чертежам-прототипам. Для облегчения процесса выпуска документации возможна разработка «библиотек стандартных элементов».

Такие возможности AutoCAD стали хорошим стимулом для создания на базе системы локальных рабочих мест по различным конструкторским, архитектурным и другим направлениям, а также для разработки новых специализированных систем. Стандарты AutoCAD поддерживает огромное количество независимых разработчиков, создавших более 5 000 специализированных приложений к этой системе во многих прикладных областях.

Среди наиболее распространенных приложений к AutoCAD следует отметить мощный пакет Autodesk Mechanical Desktop, предназначенный для сложного трехмерного моделирования машиностроительных деталей и узлов. Компанией Autodesk также создан пакет Autodesk Inventor, который превосходит по

возможностям Autodesk Mechanical Desktop и в настоящее время является лидером продаж на российском рынке. Система Cad Mech Desktop компании Autodesk разработана для проектирования в среде AutoCAD деталей и сборочных единиц в соответствии со стандартами ЕСКД.

В числе известных архитектурно-строительных приложений можно отметить Autodesk Architectural Desktop. Это мощный программный комплекс, предназначенный для работы над проектами высшей степени сложности: крупными объектами гражданского и промышленного строительства, комплексными проектами городской инфраструктуры, привязками сложных сооружений на генеральные планы, интерьерами общественных зданий.

В проектировании радиоэлектронных схем, печатных плат и других электронных устройств широко используется система РЭА — OrCAD/MicroSim компании OrCAD. Популярнейшая в России и во всем мире система P-CAD разработана компанией ACCEL Technologies для расширения возможностей AutoCAD по созданию и редактированию схем и печатных плат. С помощью P-CAD можно построить сквозную технологию проектирования печатных плат (ПП), подготовку технологического процесса изготовления ПП и выпуск всей необходимой технической документации.

Заслуживают отдельного внимания приложения геодезии и генплана Autodesk MAP, Autodesk Map Guide, разработанные для специалистов в области гражданского строительства, проектирования геоинформационных систем и др.

Autodesk Land Development Desktop является основной частью семейства продуктов Land Desktop Solutions III компании Autodesk и объединяет широкие возможности AutoCAD со специализированными программами для решения задач гражданского строительства, геодезии, картографии и генплана. AutoDesk Civil Design является дополнением к AutoDesk Land Development Desktop, позволяющим расширить круг решаемых задач в области строительства. Этот программный продукт включает средства для разработки планов благоустройства, земляных работ, горизонтальной и вертикальной планировки, гидрологического анализа, проектирования инженерных коммуникаций и дорог, инструменты для черчения профилей и поперечных сечений, и др. AutoDesk Survey также является дополнением к AutoDesk Land Desktop и позволяет расширить круг решаемых задач в области инженерной геодезии: надежно и безошибочно обрабатывать данные полевых измерений, создавать цифровые модели местности, подготавливать основу для инженеров-строителей.

Среди множества программных средств, предназначенных для решения задач дорожного проектирования, особое место занимает программа PLATEIA: достаточно сказать, что за последнее десятилетие именно с ее помощью выполнена большая часть современных проектов европейских автодорог. PLATEIA — известное программное обеспечение словенской фирмы CGS Software. PLATEIA работает на базе AutoCAD, AutoCAD Map и AutoCAD Land Development. В программном обеспечении PLATEIA предусмотрены средства для проектирования новых и реконструкции старых дорог, разработки проектов мостов и тоннелей, пересечений и примыканий, железных дорог, плотин и др. Кроме того, есть возможность анализировать рельеф местности, рассчитывать объемы работ, моделировать процессы, создавать и визуализировать трехмерные модели.

Таким образом, каждый учебный курс, так или иначе связанный с проектированием, должен быть сориентирован на тот или иной программный комплекс и отвечать специфике конкретной специальности. Актуальная задача формирования нового поколения инженеров, архитекторов и дизайнеров требует существенного и незамедлительного расширения спектра изучаемых компьютерных приложений.

Использование компьютерных технологий в инженерном образовании преследует следующие цели:

— повысить качество профессионального образования в области графических дисциплин на всех ступенях обучения;

— стимулировать развитие отдельных личностных качеств, необходимых инженеру, в частности, воображения, пространственного мышления, познавательной деятельности;

— активизировать самостоятельную работу студентов;

— интенсифицировать процесс профессиональной подготовки;

— повысить качество учебных работ и проектов;

— предоставить студентам инструмент для профессиональной работы, позволяющий легко адаптироваться к условиям рынка;

— способствовать решению проблем материально-технического и методического обеспечения учебного процесса путем применения виртуальных моделей и наглядных пособий вместо традиционных, а также электронных учебников.

Современные темпы развития информационно-технических средств во всех сферах производства требуют постоянного увеличения объема графических знаний. В связи с этим необходимо затронуть вопрос об уменьшении объемов времени, отводимого для изучения графических дисциплин на всех ступенях обучения. С 1995 г. в технических вузах страны, в том числе и в Мордовском государственном университете, осуществляется переход на обучение по новым учебным программам, предполагающим резкое сокращение количества аудиторных занятий по всем предметам [3]. При этом заметно увеличивается количество часов, отводимых на самостоятельную работу студентов. Также отмечается уменьшение количества контрольных и курсовых работ без согласования с кафедрами и научно-методическими советами по графическим дисциплинам. Эта ситуация, на наш взгляд, приводит к ослаблению графической и конструкторской подготовки будущих инженеров. Общее количество часов по геометрической и графической подготовке в 2—3 раза меньше, чем, например, по высшей математике, тогда как ранее в технических вузах (сейчас и в зарубежных) соотношение обратное. В некоторых случаях отмечается передача курса (или отдельных разделов) компьютерной графики другим кафедрам, что не обеспечивает целостности графической подготовки студентов. Поэтому задача системы образования, заключающаяся в передаче необходимого объема знаний в установленные сроки обучения, является проблемной.

В учебных планах некоторых инженерных специальностей отсутствует дисциплина «Компьютерная графика». Освоение графических информационных технологий предусматривается в курсах начертательной геометрии и инженерной графики. На наш взгляд, включение компьютерно-графических компонентов в эти дисциплины обязательно, но в то же время не должно происходить за счет общего учебного времени. Графическое образование не должно перерождаться в иллюстративное знакомство с основами компьютерной графики и геометрического моделирования. Поэтому необходимо адекватное увеличение учебной нагрузки на уровне государственных образовательных стандартов с приоритетным выделением графических компьютерных технологий в отдельные курсы на всех инженерных направлениях. Иначе в результате обучения можно получить «специалистов» с ослабленным уровнем фундаментальных знаний и не владеющих технологическими основами компьютерной графики.

В качестве альтернативы сокращению основного учебного времени можно рассмотреть организацию дополнительного сертифицированного образования или факультативных курсов по изучению графических информационных технологий на платной основе.

Использование компьютерно-графических компонентов в инженерном образовании обеспечивает студентам возможность работы с виртуальными трехмерными моделями, что способствует развитию пространственного воображения и технической эрудиции; интенсификацию процесса выполнения и высокое качество самостоятельных работ; активизацию процесса самообучения. Обеспечивается улучшение качества обучения преподавателей; повышается квалификация; значительно совершенствуется научно-методическая работа; повышается контроль за выполняемыми работами студентов. Использование компьютерно-информационных компонентов графических дисциплин позволяет сократить количество традиционных наглядных пособий: плакатов, моделей и макетов, используемых в учебном процессе. В условиях недостаточного материально-технического обеспечения вузов пополнение и обновление комплектов технических средств обучения является очень проблематичным. Создание электронных учебных пособий; библиотек виртуальных моделей; электронных архивов чертежей, иллюстраций, заданий к контрольным работам не потребует значительных материальных вложений.

В МГУ им. Н. П. Огарева дисциплину «Компьютерная графика» в различных объемах и вариациях с 1995 г. изучают студенты светотехнического и архитектурно-строительного факультетов, факультета электронной техники, а также Института физики и химии и Института механики и энергетики.

Основные цели преподавания дисциплины:

— повышение качества профессионального образования в области графических дисциплин на всех ступенях обучения;

— знакомство с наиболее распространенными графическими программными продуктами и системами автоматизированного проектирования;

— обучение навыкам работы в графических системах и системах автоматизированного проектирования;

— изучение основ компьютерного моделирования.

При постановке и организации занятий за основу взяты следующие исходные положения:

— информационное, техническое и программное обеспечение, используемое в учебном процессе, должно предоставлять возможность решать задачи автоматизированного проектирования с обязательным получением конструкторских документов;

— учебные работы должны иметь практическую направленность с возможностью дальнейшего использования в графических подсистемах САПР как учебного, так и промышленного назначения.

Учебная программа дисциплины «Компьютерная графика» предполагает выполнение ряда лабораторных работ общей направленности, в ходе которых студенты осваивают основные принципы работы в графической системе AutoCAD по выполнению и оформлению проектно-конструкторской документации, основы геометрического моделирования и конструирования [8—10]. Кроме того, на каждом факультете предусматривается выполнение лабораторных работ по специальности. Например, на факультете электронной техники такой работой является выполнение задания по проектированию схемы электрической принципиальной. Для выполнения этой работы в системе AutoCAD создана библиотека элементов схем в виде блоков. На примере электрической принципиальной схемы студенты изучают правила графического оформления схем, что является подготовительным этапом для выполнения курсовых и дипломных проектов по специальным дисциплинам. На старших курсах факультета электронной техники студенты работают с системами P-CAD, OrCAD.

На светотехническом факультете компьютерная графика изучается в рамках дисциплины «Инженерная и компьютерная графика». Студенты первого курса выполняют курсовой проект по оформлению проектно-конструкторской документации и моделированию детали средствами программного продукта AutoCAD с учетом специфики обучения [5].

На архитектурно-строительном факультете основы выполнения плоских построений и трехмерного моделирования в графической среде AutoCAD изучают студенты специальностей «Промышленное и гражданское строительство», «Городское строительство и хозяйство», «Автомобильные дороги и аэродромы», «Архитектура» и «Дизайн архитектурной среды» [4; 6; 7; 9]. Обучение студентов инженерных специальностей архитектурно-строительного факультета методам и средствам компьютерной графики и геометрического моделирования можно условно разбить на два этапа.

Учебная программа первого этапа предполагает выполнение ряда лабораторных работ, в ходе которых студенты осваивают основные приемы выполнения и редактирования двухмерных изображений, а также основы трехмерного моделирования пространственных объектов в графической системе AutoCAD. Практические приемы работы осваиваются на примерах выполнения чертежей плоского контура и узла железобетонных конструкций. Студенты выполняют чертеж узла железобетонных конструкций здания, а также создают трехмерные модели машиностроительной детали и фрагмента здания.

На втором этапе освоения компьютерной графики студенты второго курса в рамках учебной программы по строительному черчению изучают основы моделирования архитектурно-строительных объектов, которые реализуются интерактивными средствами с использованием графической системы ArchiCAD, разработанной компанией Graphisoft (США).

Системы автоматизированного проектирования объектов строительства получили самостоятельное развитие в общем ряду графических систем САПР. В основе пакета ArchiCAD лежит концепция «виртуального здания», впервые разработанная компанией Graphisoft в 1984 г. Проектировщикам и архитекторам предлагается мощный программный продукт, специально разработанный с учетом его потребностей и позволяющий работать не с отдельными чертежами, а с объемной моделью. Эта модель содержит все необходимые данные о проектируемом здании, из которых в нужный момент может быть извлечена любая информация об объекте в виде чертежей (поэтажные планы, разрезы, фасады и др.), смет и спецификаций, презентационных материалов (фотореалистические изображения, анимационные фильмы, сцены виртуальной реальности). Важнейшей особенностью пакета является то, что, работая с ним, пользователь имеет дело не с набором чертежных инструментов, а с привычными строительными конструкциями: стенами, окнами, дверями, перекрытиями, крышами и т. д.

Использование средств AutoCAD и ArchiCAD для обучения студентов специальности «Автомобильные дороги и аэродромы» является хоть и обязательным, но недостаточным, так как не отвечает требованиям образовательных стандартов. Имеющиеся широкие проектно-конструкторские возможности этих систем в процессе проектирования дорог могут быть использованы с большими условностями. AutoCAD может быть использован лишь как средство автоматизации чертежных работ, но не как средство автоматизированного проектирования дорог. Поэтому становится очевидным, что преподавание графических дисциплин должно проходить с использованием специализированных компьютерных программ. Дисциплина «Компьютерная графика» для студентов специальности «Автомобильные дороги и аэродромы» может опираться на возможности таких программных продуктов, как AutoDesk Land Development Desktop, AutoDesk Civil Design, PLATEIA, а также приложений к ArchiCAD — ArchiTerra и ProSITE.

Для студентов специальностей «Архитектура» и «Дизайн архитектурной среды» изучение основ компьютерной графики в современных условиях, безусловно, является обязательным. Владение пакетами САПР совместно со знанием основ композиции даст будущим специалистам неоспоримые преимущества в сложившихся условиях на рынке труда. Теоретические курсы дисциплин, связанных с графическими информационными технологиями, предполагают освещение вопросов о роли и месте компьютерных технологий в деятельности архитектора и дизайнера; видах программного обеспечения; принципах компьютерного моделирования объектов проектирования; создании и редактировании графических и геометрических моделей архитектурного объекта; особенностях создания и изображения трехмерных объектов. Кроме того, рассматриваются основные возможности по подготовке проектной документации с использованием программного продукта AutoCAD; основные возможности по созданию модели объекта и подготовке проектной документации с использованием программного продукта ArchiCAD; а также дополнительные программные продукты 3D Studio MAX, 3D Studio VIZ; фотореалистическая визуализация трехмерных моделей и проектная анимация.

Студенты Института механики и энергетики основы компьютерной графики изучают после освоения курса «Начертательная геометрия и инженерная графика». В лабораторной форме они осваивают работу компьютерно-графических систем AutoCAD и КОМПАС. Студенты знакомятся с компьютерной графикой, обеспечиваемой традиционными языками программирования: бейсик, паскаль, ФОРТРАН. Так, например, используя фортрановский пакет прикладных программ ГРАФОР, студенты производят сложные прочностные расчеты и строят двух- и трехмерные графики, описывающие режим работы автотракторных двигателей. В дальнейшем полученные результаты используются при проведении курсового проектирования по теории тракторов, реализуемого в среде AutoCAD. Пакет ГРАФОР применяется также при решении задач начертательной геометрии. При этом процедура решения задачи демонстрируется на мониторе компьютера поэтапно с десятисекундной задержкой. Аналогичная схема реализована для чтения лекционных курсов по начертательной геометрии и теории машин и механизмов.

Итак, необходимость использования компьютерно-информационных технологий в

процессе обучения графическим дисциплинам на инженерных и творческих специальностях вузов очевидна. Однако потребность в использовании новых образовательных информационных технологий не ограничивается лишь графическими дисциплинами. Здесь хотелось бы привести один пример, почерпнутый на официальном сайте СПбГПУ и ярко иллюстрирующий актуальность проблемы. Студенты инженерно-строительного факультета СПбГПУ ежегодно проходят обучение в международной школе. «В результате проведенного экспресс-сопоставления оказалось, что по сравнению с зарубежными сверстниками наши студенты обладают большим объемом фундаментальных знаний, имеют больший инженерный кругозор, но уступают в решении практических инженерных задач. К сожалению, наше образование дает устаревшие технологии применения знаний. Выпускник может рассчитать строительную конструкцию, но будет это делать вручную и довольно долго. А его зарубежный коллега, владеющий соответствующими программными средствами, произведет расчеты намного быстрее и, кроме того, сможет оптимизировать сортамент металлопроката, выдать необходимые спецификации и рабочие чертежи. Конечно, такой специалист более ценен и для нашей промышленности». Для решения комплексных проблем, связанных с внедрением современных компьютерных технологий, существует Центр информационных технологий в строительстве (ЦИТС). Он действует в структуре инженерно-строительного факультета СПбГПУ при поддержке компаний Consistent Software и «Бюро ESG» [11].

Такой опыт организации процесса образования на условиях взаимовыгодных форм сотрудничества вузов с компаниями — разработчиками программных продуктов (или их официальными представителями), а также с проектными и строительными организациями, бесспорно, заслуживает внимания и применения.

Аналогичная по сути концепция организации учебного процесса, основанная на использовании профессиональных программных продуктов проектирования, анализа, технологической подготовки производства и управления (систем CAD/CAM), в качестве единого сквозного средства обучения на протяжении всего срока получения образования может быть реализована на архитектурно-строительном факультете Мордовского государственного университета. Реализация новых образовательных технологий требует достаточного обеспечения лицензированными программными продуктами, а также сертифицированного обучения преподавателей и студентов. Курсы «Начертательная геометрия» и «Инженерная графика» могут базироваться на применении систем AutoCAD и КОМПАС. При выполнении учебных работ по дисциплинам «Строительное черчение» и «Архитектура» целесообразно использование одного из самых распространенных пакетов архитектурного проектирования, ArchiCAD, или системы МАЭСТРО. Курсы теоретической и строительной механики, сопротивления материалов, механики грунтов, металлических и железобетонных конструкций должны строиться с применением программ SCAD или ЛИРА. Преподавание цикла дисциплин по специальности «Автомобильные дороги и аэродромы» может основываться на применении программных продуктов Autodesk Land Development Desktop или КРЕДО. Курс «Экономика строительства» обязательно предполагает изучение системы РИК.

На наш взгляд, существует еще одна очень важная проблема инженерно-графического образования. В традиционных подходах к образовательному процессу нарушена непрерывность графической подготовки учащихся в системе «школа — технический вуз». В свете проводимой реформы образования согласно Федеральному базисному учебному плану в средних общеобразовательных учебных заведениях не предполагается изучение предмета «Черчение». В среднем (полном) общем образовании его будут преподавать лишь в школах индустриально-технического профиля. От реформы выигрывают все школьные предметы (преподавание их расширяется или углубляется), кроме традиционного черчения, которое практически ликвидируется. Сегодня эта дисциплина существует только за счет школьного компонента учебных планов.

В школах, где черчение еще присутствует в расписании занятий, в соответствии с учебными программами изучение одной из базовых дисциплин инженерного образования происходит в 8—9 классах. На практи-

ке же часто приходится сталкиваться с ситуациями, когда в некоторых средних общеобразовательных учебных заведениях преподавание черчения не проводится совсем или проводится на низком профессиональном уровне учителями-предметниками непрофильной специализации. Такие явления очень часто встречаются в сельских школах, где отмечается нехватка преподавателей и по другим дисциплинам. Не секрет, что один учитель может проводить занятия сразу по нескольким предметам. Так, например, от студентов-первокурсников приходится слышать, что уроки черчения у них проводил, например, учитель физкультуры или труда. Здесь, конечно же, на первый план выходит общегосударственная проблема нехватки педагогических кадров в сельской местности, что в еще большей степени усугубляет проблему графической подготовки абитуриентов технических вузов.

В единичных специализированных городских лицеях в выпускных классах преподавание черчения и элементов начертательной геометрии может проводиться в факультативной форме. Такая подготовка недостаточна для абитуриентов инженерно-технических специальностей. Студенты начальных курсов начинают знакомство с начертательной геометрией, техническим черчением и компьютерной графикой, практически не имея никакого запаса знаний и навыков черчения. Для того чтобы изменить состояние дел в этом направлении, кафедрам графических дисциплин технических вузов необходимо активнее участвовать в довузовской подготовке школьников; целесообразно организовывать при кафедрах курсы или школы по черчению и компьютерной графике для подготовки к поступлению в вуз при профильном обучении технической направленности.

В свете вышеизложенного обобщим проблемы, с которыми приходится сталкиваться при использовании в образовании технологий компьютерной графики:

— недостаточное материально-техническое обеспечение вузов;

— высокая стоимость аппаратного и лицензионного программного обеспечения для создания профессионального рабочего места;

— проблема выбора из множества существующих графических программ, пригодных для использования в качестве учебных средств;

— недостаток учебного времени, отводимого государственными образовательными стандартами на изучение компьютерных технологий;

— дополнительное образование и сертификация преподавателей.

Для выхода из создавшихся проблем, на наш взгляд, необходимо:

— повышение заинтересованности и большее участие государства в подготовке дипломированных специалистов нового поколения;

— развитие материально-технической базы вузов;

— повышение значимости графических дисциплин при разработке новых стандартов образования;

— создание совместно с профильными выпускающими кафедрами единой сквозной системы применения компьютерных расчетно-графических технологий на весь период обучения;

— увеличение количества учебного времени на преподавание компьютерной графики и других графических дисциплин с компьютерно-информационными компонентами на уровне государственных образовательных стандартов;

— значительное расширение перечня изучаемых программных продуктов, переход на лицензионные версии;

— создание механизмов преодоления постоянного отставания системы графического образования от уровня информатизации промышленности и производства, от тех знаний и технологий, на которых строится современное общество;

— укрепление и обновление кадрового состава высшей школы, сертифицированная переподготовка преподавателей в авторизованных центрах;

— выпуск достаточного количества доступной учебно-методической литературы, а также электронных пособий и учебников;

— дополнение базовых курсов графических дисциплин платным сертифицированным образованием по графическим информационным технологиям с выдачей сертификатов;

— сотрудничество с профилирующими кафедрами университета для привлечения студентов старших курсов к выполнению курсовых и

дипломных проектов с использованием средств компьютерных графических технологий;

— повышение статуса графических дисциплин в довузовском образовании; организация курсов или школ по черчению и компьютерной графике для подготовки к поступлению в вуз при профильном обучении технической направленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 11-я международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению ГрафиКон' 2001 : тр. конф. / Нижегор. гос. архитектурно-строит. ун-т. — Н. Новгород, 2001. — 352 с.

2. Актуальные проблемы графической подготовки в высшем профессиональном образовании : тез. докл. Всерос. совещания зав. кафедрами графических дисциплин вузов РФ / Пермский гос. техн. ун-т. — Пермь, 2006. — 40 с.

3. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования. Направление подготовки дипломированного специалиста 220200, 200900, 200100, 200400 (пр. Мин. Обр. РФ № 687 от 27.03.2000 г.).

4. Жилой дом малой этажности : метод. указания к проектированию в граф. среде ArchiCAD / сост. Л. М. Ошкина. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2005. — 48 с.

5. Методические указания к выполнению курсового проекта по инженерной и компьютерной графике: для студентов инженерно-технических специальностей высших учебных заведений/ сост. Л. М. Ошкина, С. Н. Волкова. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2002. — 48 с.

6. **Ошкина Л. М.** AutoCAD для архитекторов и дизайнеров. Ч. 1. Выполнение чертежей : учеб. пособие / Л. М. Ошкина. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2006. 64 с.

7. **Ошкина Л. М.** AutoCAD для архитекторов и дизайнеров. Ч. 2. Моделирование пространственных объектов : учеб. пособие / Л. М. Ошкина. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2006. — 92 с.

8. **Хрящев В. Г.** Моделирование и создание чертежей в системе AutoCAD / В. Г. Хрящев, Г. М. Шипова. — СПб. : БХВ-Петербург, 2004. — 224 с.

9. **Шипова Г. М.** Практикум по изучению основ компьютерной графики в графической среде AutoCAD / Г. М. Шипова, Л. М. Ошкина, С. Н. Волкова. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2006. — 104 с.

10. **Шипова Г.М.** Поверхности в инженерной и компьютерной графике / Г. М. Шипова, Л. А. Мартынова. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2006. — 132 с.

11. www.spbstu.ru.

Поступила 16.10.06.

ЭТНИЧЕСКИЙ КОМПОНЕНТ В СОДЕРЖАНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ «ДИЗАЙН»

Н. В. Белкина, С. В. Щедрина

В статье рассматривается структура и типология дизайнерской деятельности, вузовские образовательные программы для будущих дизайнеров и место в них этнического компонента. Программы, разработанные в Институте культуры и искусств Воронежского педагогического университета, ориентируются по трем направлениям: дизайн среды, дизайн костюма и графический дизайн. Выявлен этнокультурный региональный компонент — спецдисциплины «Музейная практика» и «История костюма», разработаны программы с выходом на реальные объекты Воронежской области.

«Дизайн» — слово, которое сегодня употребляется обывателями достаточно часто, во всех сферах жизни, людьми разных возрастов, профессий и специальностей. А что же такое дизайн для профессионалов? Термин «дизайн» сегодня употребляется как характеристика процесса художественного или художественно-технического проектирования, результатов этого процесса — проектов (эскизов, макетов и других визуальных материалов), а также реализованных проектов — изделий (бытовая техника, мебель, одежда и т. д.), средовых объектов (фасады, интерьеры зданий и др.), полиграфической продукции и т. д. [1].

Суть, предназначение и возможности дизайна, его место в производственно-экономической и культурной сферах общества не всегда ясны не только основной массе обывателей, предпринимателей, абитуриентов учебных заведений. Практики со стажем, искусствоведы, педагоги и философы расходятся в оценках целей, задач, перспектив этого феномена XX в.

Слово «дизайн» в русском языке появилось относительно недавно. Оно заимствовано из итальянского языка и имеет множество значений. «Designo» означает не только чертеж или рисунок, но и всю область работы художника. Это замысел, намерение, модель и композиция — все это включает понятие дизайна. Смысловые корни термина «дизайн» восходят к латинскому «designare» — определять, обозначать. Итальянское «dsegno» со времен Ренессанса обозначало проекты, рисунки, а также основополагающие идеи. В Англии понятие «design» распространилось в XVI в. В разных культурах принято называть дизайнерскую деятельность по-разному: польский язык использует выражение «wzornictwo przemysłowe», в немецком языке употребляют термин «formgebung». В 1959 г. в качестве международного обозначения слова «Дизайн» был принят термин «индустриальный дизайн». Это явление в англоязычных, а затем и в других странах обозначалось термином «industrial design» — индустриальный дизайн. В дизайне сфокусирован комплекс явлений, связанных с хозяйственно-экономической жизнью общества, явлениями культуры в целом и искусства в частности. Деятельность, предваряющая изготовление изделий и создание средовых объектов — проектная деятельность:

— массовое машинное промышленное производство;

— урбанизация (сосредоточение населения и экономической жизни в крупных городах);

— развитие науки, техники, использование достижений науки и техники в повседневной жизни (электроэнергия, телефон, телеграф, фотография, новейшие средства транспорта, звукозапись, кинематограф и т. д.);

— традиции и опыт художественно-прикладных ремесел;

— архитектурное проектирование;

— инженерное проектирование;

— процессы в искусстве: от классического искусства к импрессионизму как многоплановому явлению;

— кризис аналитических процессов в изобразительном искусстве.

С момента зарождения и особенно с началом американского периода (1930-е гг.) дизайну присущ коммерческий характер. Наряду с новыми технологиями, оригинальными инженерными решениями, организационными нововведениями, дизайн стал неотъемлемым фактором повышения конкурентоспособности.

В последней трети XX столетия дизайн превратился в глобальное явление постиндустриального общества, охватившее новые области проектной практики, включая не имеющие непосредственной связи с проектно-графическими методами.

Расширение и развитие дизайна как вида проектной деятельности, охват им новых областей приложения обусловлены сутью и методологическими особенностями дизайн-проектирования, а также широким спектром англоязычных значений слова «дизайн».

Дизайнерский подход к решению проектных задач характеризуется комплексным учетом широкой гаммы факторов. Это направленность проектирования на удовлетворение утилитарных запросов потребителей — пользователей продукции. Сюда включены такие понятия, как удобство, комфорт и безопасность эксплуатации, лаконичность, соответствие окружающей среде, вписываемость в нее. Следующая группа факторов связана с производственно-экономическими условиями: это особенности конструктивного решения, технологии изготовления, применяемых материалов, комплектующих элементов с учетом экономической целесообразности. Также принимается во внимание необходимость обеспечения коммерческого успеха при реализации продуктов производства. В этом прямая связь с маркетингом: анализ потребительского рынка, учет социальных аспектов, тенденций моды, презентации и рекламы продукта, обратной связи от потребителя к производителю и т. д.

Этимология англоязычного понятия «дизайн» охватывает несколько смысловых рядов. Определение «декоративного» порядка: узор, орнамент, декор, украшение, убранство. «Проектно-графическая» трактовка: набросок, эскиз, рисунок, чертеж, конструкция. Также: план, предположение, замысел, намерение и т. д. Собирательным является следующее определение: дизайн — специфическая сфера деятельности по разработке (проектированию) предметно-пространственной среды с целью придания результатам высоких потребительских свойств, эстетических качеств, оптимизации и гармонизации их взаимодействия с человеком и обществом.

В силу стремительных развитий современных технологий диапазон деятельности дизайна расширяется. Являясь целым направлением, он затрагивает все области жизнедеятельности человека, он охватывает все аспекты окружающей среды.

Дизайнер должен обладать знаниями во многих предметных областях и умело применять их на практике, проецируя в творческом процессе создание образа. С уверенностью можно сказать, что дизайн — это современное искусство художественного конструирования, разработка образцов рационального построения предметной среды.

Из истории: дизайн родился в начале века и прочно встал на ноги в его середине как специфический вид проектирования утилитарных изделий массового производства, изделий функциональных, удобных, надежных, эстетичных (красивых). Возникнув в начале XX в. в результате стихийного формирования визуальных и функциональных свойств окружающего мира, он прошел несколько стадий становления. Встречались разные обозначения дизайна, такие как «декоративное искусство» или «промышленная эстетика» [2].

Поскольку дизайн затрагивает практически все области деятельности человека, появился ряд направлений, влияющих на каждую из сфер: дизайн интерьера, дизайн одежды, ландшафтный дизайн, графический дизайн и т. д. Глобализация дизайна сопровождается специализацией проектировщиков, что совсем не мешает успешно работать и в других сферах. Выделяют основные виды современного дизайнерского творчества:

— *индустриальный дизайн*, охватывающий широкий круг объектов технически сложных, наукоемких. Продукция машиностроения, станкостроения, средства транспорта, вооружение. В традиционном понимании сюда относят бытовые приборы, аппаратуру, инвентарь и т. д. Особое место отведено дизайну мебели и оборудования для интерьеров, а также посуде, столовым приборам;

— *графический дизайн*. К традиционным видам книжного и плакатного оформления, решению упаковки, этикеток, разработке фирменных знаков и стилей, шрифтов добавилась коммуникативная ветвь: заставки, ролики на телевидении, компьютерный дизайн;

— *компьютерный дизайн*, выделившийся в самостоятельное направление;



Рисунок
Направления дизайна

— *дизайн архитектурной среды*, включающий интерьеры и внешнюю архитектурную среду;

— *дизайн выставочных композиций*, праздничного оформления среды жизнедеятельности;

— *дизайн одежды и аксессуаров* с использованием современных материалов и технологий, новейших специфических методов дизайна;

— *арт-дизайн* (искусство), направленный на впечатление. Изделия лишаются утилитарного значения, приобретая максимальную декоративность проектирования.

Система дизайна многоуровнева и требует не только широкого спектра знаний художественного характера, но и характеризуется необходимостью знаний точных наук, а также ориентирует на знания психологии и экономики. В современном обществе образование служит основой воспроизводства духовного, культурного и интеллектуального потенциала [3]. Оно способно предопределить дальнейшее развитие страны. Необходимо учитывать, что база заложенных «сегодняшних» знаний во многом способна повлиять на развитие страны в будущем.

В свете таких событий возрастает потребность в высококвалифицированном специалисте, как владеющего в совершенстве практическими навыками, так и системным комплексом знаний. Задача воспитать и сформировать универсального специалиста возлагается на ряд российских вузов. Беря во внимание масштабный характер профессии, вузы, выпускающие такого специалиста, заинтересованы в даче всеобъемлющих знаний выпускнику.

На базе Воронежского педагогического университета в 1998 г. сформирован Институт культуры и искусств, в состав которого входят три кафедры: дошкольной педагогики, народного художественного творчества и дизайна. Кафедра дизайна при ВГПУ работает по трем актуальным направлениям: дизайн среды, дизайн костюма, графический дизайн, — готовя специалистов для данной области. Комплекс преподаваемых дисциплин формируется из расчета направлений (специальностей).

Осуществляя мониторинг образовательного процесса, ориентируясь на образовательные программы по специальности «Дизайн», можно выявить этнокультурный региональный компонент. Согласно учебному плану, учебный процесс выстраивается по направлениям (специализациям).

Независимо от выбранной специализации в течение трех лет ведется углубленное изучение теоретических дисциплин, таких как «Культурология», «История искусств», «История мировой культуры», позволяющих сформировать представление о мировых социокультурных процессах. Каждое направление дизайна в структуре своих дисциплин, пролонгирует и упрочивает эти знания. Согласно учебным программам, дисциплины специализации включают в себя информативный блок, направленный на изучение становления основ дизайна воронежского края. Ни одна дисциплина специализации не может перешагнуть через региональные особенности профессии, опираясь только на мировой опыт.

Э. Смит еще в начале 90-х гг. XX в. отмечал, что «структура любой национальной идентичности содержит и гражданский, и

этнический элементы, но в различной степени и в различных формах. В одних случаях доминирующими являются гражданский и территориальный элементы, в других — преобладают этнический и национальный компоненты» [4].

Содержание образовательных программ основывается на комплексе гуманитарных наук, с обязательным включением дисциплин специализации. Кафедра дизайна готовит специалистов по трем направлениям: дизайн среды, графический дизайн и дизайн костюма.

Во всей обучающе-воспитательной системе обязательным является наличие дисциплин, знакомящих с историей, этнографией, культурологией, что позволяет ориентировать студентов на осознание ценности и значимости мировой исторической культуры. Таким образом, актуализируется проблема совершенствования духовной нравственности подрастающего поколения.

С целью определения национально-регионального компонента с 2005 г. в учебный план была внесена новая дисциплина «Музейная практика», с акцентом на культурологическую основу, выстроенная по принципу образовательных программ в соответствии с государственным образовательным стандартом. Беря во внимание ряд направлений дизайна, программы по музейной практике необходимы для углубленного изучения краевых особенностей в контексте выбранной специализации. Дисциплина знакомит с культурой и традициями, а также с архитектурными памятниками воронежского края. Появление такой практики становится взаимовыгодным фактом, с одной стороны, для ряда областных музеев, с другой — для студентов, непосредственно проходящих практику в стенах этого музея. Комплекс практических заданий, разработанный индивидуально для каждой специализации, позволяет изучать документы и проводить обмерочные работы. На основе полученных данных осуществляется и реализация практических этапов.

В период прохождения практики с 2005 по 2007 учебные годы студентами был графически воссоздан материал палеолитических раскопок в музее «Костенки» с. Костенки, Хохольского района Воронежской области. Музей Марии Мордасовой обрел макеты и стенды с информацией о творческой деятельности и жизненных вехах воронежской знаменитости.

Имея региональные особенности, область графического дизайна должна ориентировать студента на принятие и продолжение традиционных приемов профессиональной направленности. В свете таких событий первостепенным становится знание истории. С этой целью актуализируются и приобретают особую значимость дисциплины, которые акцентируют внимание на изучение истории воронежского края, знакомят с традициями Воронежской губернии. Каждое из направлений дизайна (дизайн среды, дизайн костюма, графический дизайн) (рис.) помогает углубить эти знания и ориентирует на изучение становления основ профессиональной деятельности. Рассматривая область графического искусства через призму регионального компонента, можно четко выявить особенности воронежской графической школы. Пристального внимания заслуживают книжная графика, плакаты и афиши.

Интегрированный характер дисциплины «История костюма» позволяет осветить жизнедеятельность людей во всех аспектах. Характеристика основных исторических периодов рассматривается под влиянием стилевых особенностей искусства каждой эпохи, быта, эстетического идеала, искусства создания костюма, принципов ношения костюма, свойств используемых материалов. Студенты получают информацию о примитивных формах одежды, зарождении основных типов одежды, обуви и головных уборов; символике цвета, орнаментике, появлении кроя, ювелирном, парикмахерском искусстве, использовании косметики. Курс предполагает изучение искусства и костюма периода Древнего мира до новейшего времени. Особое внимание уделяется национальной одежде, так как это один из широко распространенных видов народного творчества на Руси. Изучая историю Воронежской губернии, студенты узнают об особенностях символики цвета, кроя, орнаментики, основные виды одежды мужчин и женщин. Ознакомление с историей Воронежского края помогает формированию мировоззрения, художественно-эстетического вкуса, воспитанию ощущения связи времен, национального самосознания [5]. Дисциплина преподается с I по III курс в течение пяти

семестров, включает в себя лекционные и лабораторные занятия, где студентам предлагается не только усваивать и запоминать накопленный преподавателем материал, но и анализировать созданные известными мастерами-модельерами коллекции с обоснованием темы произведения, ссылаясь на характерные исторические детали и элементы кроя костюма. Приобретение подобных навыков происходит во время сбора информации из различных источников для формирования материала докладов и рефератов. Изучение личности, творческой деятельности модельеров дает возможность глубокого осмысления выбранной специальности, приобщение к различным направлениям и проблемам в данной сфере деятельности.

Развитие творческих способностей студента и становление творческой личности независимо от выбранной специальности происходит благодаря содержанию образовательной программы, четко составленным учебно-методическим комплексам, разнообразным формам урока (лекция, семинар, лабораторные и практические занятия), дополненным методическими указаниями, хорошо сформированным фондом наглядных пособий, ежегодными выставками студенческих учебных работ и дипломных проектов.

Для студентов ежегодно выпускается сборник, где указаны дисциплины и количество отведенных часов, форма урока, темы, вопросы к данной теме, содержание практических работ, методические указания, форма отчетности, вопросы к зачету (экзамену), список литературы. Определенное количество часов отводится на самостоятельную работу студента.

Предмет «Основы теории и методологии дизайна» знакомит студентов с основными понятиями дизайна как особого вида проектной деятельности, сложившегося в XX в. Рассматриваются два аспекта. Первый — ретроспективный обзор зарождения, становления и эволюции концепций дизайна в общемировом контексте и в нашей стране, в том числе формообразование предметного окружения и среды обитания, осмысление их роли, решение социально-значимых моментов. Второй — изложение методологических моментов дизайн-проектирования (методов предпроектного анализа, проектных исследований, методики и средств дизайн-проектирования) в общем плане и на конкретных примерах. Изучаются теоретические концепции западного дизайна (ретроспективный обзор), история отечественной рекламы и промышленной графики, теоретические концепции отечественного дизайна 1960—1980-х гг., проектирование графических элементов фирменного стиля. Значительное место отводится эргономическому обеспечению проектирования, а также рассмотрению дизайна как объекта промышленной собственности. Данная дисциплина закладывает прочный фундамент для практической деятельности как в части теоретико-методической специфики профессии, так и в процедурных моментах дизайн-проектирования. Полученные знания, умения и навыки позволяют студентам успешно выполнять практические учебные задания, целенаправленно осуществлять дипломное проектирование и в дальнейшем самостоятельно продолжать профессиональную деятельность. Параллельная подготовка дает значительный объем знаний по истории искусств и дизайна, теории рекламы.

Знание традиций и новые веяния профессионального характера способны сформировать высококвалифицированного специалиста не только регионального значения, но и свободно ориентирующегося в мировых тенденциях и новаторских технологиях профессионала. Следовательно, подготовка такого специалиста является важным процессом и носит глобальный характер.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Рунге В. Ф.** Основы теории и методологии дизайна / В. Ф. Рунге, В. В. Сенъковский. — М., 2001. — С. 5—14.

2. **Черневич Е.** Русский графический дизайн 1880—1917 / Е. Черневич. — М., 1990. — С. 17—19.

3. **Пыльнев Ю. В.** История школы и народного просвещения Воронежского края. XVIII — начало XX века / Ю. В. Пыльнев, С. А. Рогачев. — Воронеж, 1999. — С. 94—95.

4. **Загоровский В. П.** Воронежская историческая энциклопедия / В. П. Загоровский. — Воронеж, 1992. — С. 15.

5. История дизайнерского искусства. Основы дизайна [Электронный ресурс]. Режим доступа:http://www.sreda.boom.ru/libr.htm

Поступила 16.10.08.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ДИЗАЙНА И АРХИТЕКТУРЫ В ТОЛЬЯТТИ

В. Б. Махаев, М. А. Борисова

Дизайн активно вторгается в нашу жизнь, во многом определяя развитие промышленного производства и характер потребления, социальные коммуникации и пространство жизнедеятельности в целом. Выйдя далеко за пределы быта, рекламы и сервиса, дизайн становится критерием благосостояния современного общества. Для формирования полноценной среды обитания в России привлекаются все больше дизайнеров и архитекторов, но все же состояние этой важной сферы и подготовка специалистов пока остаются острыми проблемами, актуальными даже для мест, в прошлом интересных в архитектурном отношении, где немало высококлассных специалистов. Таким примером является Тольятти. Не надо доказывать, что АвтоВАЗ кардинально изменил представления советских людей об отечественном автопроме. В 1973 г. автор генерального плана Тольятти Борис Рубанейко получил Государственную премию в области архитектуры. Не зря автоград на Волге считался образцовым городом эпохи развитого социализма.

Славная брежневская эпоха давно завершилась. Сегодня город с 670-тысячным населением испытывает массу социальных и иных проблем. Нищете, преступности и наркомании соответствует жуткий «архитектурный фон»: изношенная типовая застройка, захламленная убогой рекламой. Такой город хочется возненавидеть как безнадежную среду обитания, а можно собрать всех творческих горожан и заложить New city — виртуальный город будущего.

На это масштабное мероприятие — Международный форум дизайна и архитектуры — были приглашены и мы, преподаватели и студенты архитектурно-строительного факультета Мордовского университета. Форум состоялся 23—25 ноября 2007 г. Он собрал специалистов из России, Германии, Испании, Голландии, Великобритании, Швейцарии и Китая. Учредителем форума выступил Тольяттинский госуниверситет при поддержке Минэкономразвития РФ, а кураторами спецпроектов — московский Центр современной архитектуры, Высшая школа экономики и Союз архитекторов РФ. Трехдневная программа форума была чрезвычайно насыщенной и адресовалась как профессионалам, так и студентам архитектурно-дизайнерских специальностей. Лекции крупных специалистов чередовались с дискуссиями, показы проектов — с мастер-классами и демонстрацией видеоарта. Региональный центр дизайна, основанный на форуме в Тольятти, в дальнейшем мыслится инструментом комплексного развития города.

Главный архитектор Барселоны Хосе Асебильо рассказал о генеральном плане всемирно известного города. Оказалось, что при развитом капитализме город застраивается не хаотично, а планомерно и системно, чем разительно отличается от наших городов. Директор Баухауз (Германия) профессор Омар Акбар представил последние проекты, выполненные во всемирно известном архитектурном вузе. Проблемы бразильского Рио-де-Жанейро, боснийского Мостара, китайского Чиндао и немецкого Галле не схожи между собой, но для каждого города специалисты Баухауз разрабатывают чрезвычайно оригинальные проекты. Консультант Британского совета по дизайну Антония Вард рассказала об эволю-

ции дизайна в Соединенном Королевстве, а директор консалтингового агентства Том Флеминг — о новых принципах европейского дизайна. Особый интерес в Тольятти вызвал доклад Клауса Хоманна — начальника отдела автомобильного концерна «Фольксваген», который выстроил в Вольфсбурге идеальный автоград XXI в. — зеркальное отражение деградировавшего русского автограда.

Не менее интересными были выступления московских специалистов. Директор московского Центра современной архитектуры Ирина Коробьина прочла популярную лекцию о московской архитектуре «эпохи Лужкова». Два следующих доклада были остропроблемными. Директор Центра системного проектирования и дизайна при Высшей школе экономики Андрей Живайкин представил концепцию дизайна в современной России. Докладчик привел красноречивые цифры. В России на 10 тыс. горожан приходится один архитектор, а в странах Запада — десять. В Великобритании сегодня работают 185,5 тыс. дизайнеров (в 10 раз больше, чем в России). Если вузы Великобритании ежегодно выпускают 25 тыс. дизайнеров, Южной Кореи — 28 тыс., Италии — 22 тыс., то современной России ежегодно требуется не менее 30 тыс. молодых специалистов. Это в 6 раз больше, чем страна получает сегодня.

Директор московского фонда «Градообразующие реформы» Александр Высоковский проанализировал отечественный дизайн как составляющую экономики государственного капитализма. Дизайн и архитектура находятся в зоне столкновения интересов проектировщика, заказчика, девелопера, власти и общества. Так как все субъекты процесса находятся в стадии становления, их отношения носят нередко антагонистический характер. В итоге вопрос проектирования и строительства решает не профессионал или представители гражданского общества (как на Западе), а власть, купленная бизнесом и эстетически не слишком компетентная. Диалога сторон не получается, стратегии развития не выстраиваются, гармоничная среда не формируется.

Сложность проблем, которые обсуждались на «круглых столах» интеллектуалами, легко могла отпугнуть молодежь. Действительно, если взрослые не могут решить вопрос, что такое дизайн и кому он нужен, то стоило ли посвящать жизнь этой непредсказуемой профессии? Но не тут-то было! Судя по всему, молодое поколение строит далеко идущие планы. Самоуверенные студенты убеждены, что сразу же после окончания вуза они будут активно и по западным стандартам (за хорошее вознаграждение) преобразовывать всю ту чудовищную среду, которая досталась им в наследство от старшего поколения.

Если сложность проблем нагоняла на неокрепшие умы ужас, можно было зайти в кинолекторий, где нон-стоп крутились фильмы о западных знаменитостях — Фостере, Калатраве, Гери, Колхаасе, Хадид. Радовали взор и выставленные проекты. Среди них не было глобальных и концептуальных работ (в советское время их делали, потому что грезили о светлом будущем, а сегодня творчество стало не мечтой, а бизнесом). Модные московские архитекторы развесили свои бренды. Китаец Гари Чанг показал, как можно работать с искусственным светом в минималистской среде. Нижегородский фестиваль дизайна «Стрелка», новосибирский архитектурный фестиваль «Золотая капитель» и екатеринбургский конкурс автомобильного дизайна «Автомания» показали лучшие работы 2007 г. Мы познакомились с работами профессиональных архитекторов из Тольятти и Самары. Было очень приятно увидеть среди новейших достижений зодчества работу саранского дизайнера Ивана Щанкина — интерьер Мордовского национального театра.

Особо хочется отметить студенческие работы, которые экспонировались в Новом городе в «Галерее искусств». Архитектурные и дизайнерские проекты выставили на конкурс «Арбуз 06/07» студенты Тольяттинского государственного университета, Тольяттинской академии управления, Тольяттинского университета сервиса, Самарского государственного архитектурно-строительного университета. Эффектно поданные планшеты выглядели как яркие пижонские пятна среди серой убогости центрального выставочного зала. Молодые архитекторы предложили реконструкцию центрального района Тольятти — парка, краеведческого музея и площади у филармонии. В интерьере кафе «Windows» Алисы Присяжнюк особенность заключается в проекции на стену интернет-сайтов. Проект кафе «Аквариум» Сергея Булдыгина примечателен

композицией и конструкцией, хотя в нем присутствуют вроде бы привычные соединения стекла, бетона, дерева и зелени (кажется, это зовется деконструктивизмом). В проектах доминируют металл и стекло. Смелые конструкции и никаких украшений. Облик надменный и холодный: хай-тек и на Волге такой же фригидный, как и повсюду. А как иначе? Время диктует жестокие правила выживания, которые просто не могут найти выражение в изнеженной пластике.

Мастер-классы проводили голландцы. Студентов было много (как и у нас, в основном на архитекторов и дизайнеров учатся симпатичные девушки). Фотограф Ине Ламерс и архитектор Роб де Фрей продемонстрировали, как можно небанально снимать современный город и горожан. Они фотографировали Тольятти в межсезонье, когда обнажается городской скелет и город становится болезненно беззащитным, особенно неуютным. Затем Роб де Фрей попросил студентов разбиться на бригады и выполнить эскиз реконструкции стоящего неподалеку типового дома и тщательно проанализировал каждую работу. Нам запомнился проект, в котором из заурядного городского дома сделали инкубатор земледельцев. На балконах устроены мини-огороды, где дети приучаются к крестьянскому труду. Вот этого — курятников на лоджиях и колосящихся крыш — нам действительно в городах не хватает! «Я заберу эскизы с собой, дома еще раз присмотрюсь к ним!» — заключил изумленный архитектор. Известному мастеру есть о чем подумать. И нам тоже...



ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ОРИЕНТИРЫ РОССИЙСКИХ СТОЛИЦ. МОСКВА

(рец. на одноименную монографию В. Ф. Вавилина, В. А. Моисеенко и В. В. Вавилина. Саранск, 2007)

В. Н. Бобылев

Рост гражданского самосознания россиян, формирование истинного патриотизма в среде подрастающего поколения немыслимы без уважения и знания доставшегося нам от предков культурного наследия, в частности, памятников архитектуры. Поскольку значительная часть последних сосредоточена именно в Москве, данная монография, наряду с научной и познавательной функциями, выполняет также важную общественно-государственную миссию.

Данная книга может играть и роль путеводителя по архитектурным достопримечательностям столицы: столь обширный круг объектов в ней рассматривается. Поэтому особый интерес представляет тот принцип упорядочения множества архитектурных памятников, который избрали авторы книги.

Принцип достаточно оригинален. Авторы спроецировали типологию столичных построек на хронологию появления у Москвы соответствующих градообразующих функций — оборонительной, функции религиозного центра, столичного города, культурного и научного центра, транспортного, промышленного, торгового и финансового центра, туристического, идеологического, спортивного центра. После этого оказалось возможным логично упорядочить рассматриваемые объекты в соответствии с их типологией: фортификационные сооружения — монастыри — храмы — каменные палаты и дворцы XV—XVII вв. —

дворцы и усадьбы XVIII—XIX вв. — театры и концертные залы — образовательные учреждения — больницы, странноприимные и воспитательные дома — арсеналы, армейские склады, манежи, триумфальные арки — особняки — доходные дома — гостиницы — торговые здания — офисные здания — производственные здания — железнодорожные вокзалы — музеи — комплексная застройка городских магистралей в советскую эпоху — парковые, выставочные и спортивные комплексы — рабочие клубы, библиотеки, дома культуры — кинотеатры и цирки — инженерные и транспортные объекты — мемориалы.

Авторы смогли избежать двух опасностей — с одной стороны, поверхностности, с другой — излишней сухости изложения. Сколь бы ни был эрудирован будущий читатель этой книги, можно сказать с уверенностью, что он узнает много нового об архитектурных памятниках столицы нашего государства.



ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ОРИЕНТИРЫ РОССИЙСКИХ СТОЛИЦ. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

(рец. на одноименную монографию В. Ф. Вавилина, В. А. Моисеенко и В. В. Вавилина. Саранск, 2008)

В. И. Римшин

Возрастающее внимание к комфортности городской среды, ее оптимизации средствами качественной архитектуры и путем продуманных градостроительных решений рождает потребность в литературе, освещающей эти вопросы и перебрасывающей мост между опытом наших предков и современной практикой. Этой потребности отвечает рецензируемая книга. В ней очень квалифицированно рассмотрен весьма обширный материал, периодически подытоживаемый лаконичным, но вполне аргументированным анализом архитектурных памятников Северной столицы как градостроительных ориентиров.

При первом взгляде на объемную монографию у читателя могут возникнуть опасения, не является ли она просто аморфным нагромождением огромного количества фактов и случайных авторских суждений. Однако уже предварительное знакомство с книгой рассеивает эти сомнения.

Авторы избрали весьма оригинальный принцип упорядочения множества архитектурных памятников. В его основе лежит не хронологический и не типологический, но именно градостроительный подход. Несколько первых ключевых глав книги посвящены выявлению в городской ткани Санкт-Петербурга «зерен кристаллизации» градостроительной структуры и концептуальных планировочных осей. Можно в чем-то не согласиться с локализацией первых и траекторией вторых, но сформированная авторами с помощью этих вспомогательных инструментов своеобразная координатная сетка оказалась способной «накрыть» основную часть наиболее значимых ансамблей и отдельных архитектурных объектов Петербурга.

Суть данного подхода наглядно демонстрируют заголовки соответствующих глав и разделов книги:

— «Зерна кристаллизации» градостроительной структуры Санкт-Петербурга как архитектурные ансамбли. (Под этим углом зрения, выявив пять «зерен кристаллизации», авторы рассмотрели не менее тридцати архитектурных объектов.)

— Ансамбли центральных площадей и их «отражения» относительно концептуальных планировочных осей. (Выявив три подобных оси, авторы привязали к ним около сотни архитектурных объектов.)

Строго и последовательно придерживаясь выработанной методики и связанного с ней плана изложения, авторы книги смогли создать очень цельную в научном отношении монографию.



ПАЛОМНИЧЕСТВО ПО ПРАВОСЛАВНЫМ СВЯТЫНЯМ

(рец. на книгу В. Б. Махаева «Храмы Мордовии: рассказы для школьников о православных храмах и монастырях мордовского края». Саранск, 2008)

Н. Ю. Лысова

В наше время издание литературы познавательного характера для детей и юношества становится все более интересной и значительной отраслью отечественной книгоиндустрии. В центральных издательствах страны выходят в свет самые различные серии книг по истории науки, техники, искусства. Особенностью многотомных выпусков почти всегда являются обзорный характер изложения и строго информационный подход к рассматриваемой теме. Это вполне объяснимо: обобщающий взгляд грешит отстранением.

Вероятно, это учитывалось, когда в издательском центре «ИнСтИтут» Историко-социологического института Мордовского государственного университета задумывалась серия книг по краеведению «Мой край мордовский». Родиноведение — основной и благодарный аспект уже выпущенных и готовящихся к выпуску книг для школьников. Недавно вышедшее издание посвящено православным храмам и монастырям Мордовии.

Первое впечатление от новой книги, позволяющей ощутить ее как артефакт, основано на издательской культуре: качественная бумага, высокого уровня полиграфия, твердый переплет, выразительно решенная обложка, подчеркивающая принадлежность к серийному книжному проекту и оригинальную образно-содержательную концепцию данного издания. Приветственный фотоколлаж воспринимается как презентация старых и вновь построенных храмов, как попытка заявить авторское отношение к теме, звучащий лейтмотив которой — незыблемость культурных традиций православия, возрождение архитектурных святынь.

Автор текста, выдержанного в жанре доверительной беседы, содержательного рассказа — профессор Виктор Борисович Махаев. Известный в республике как профессиональный архитектор, арткритик, искусствовед, заведующий кафедрой архитектурного проектирования и дизайна, он сумел совместить в повествовании историю местного культового зодчества с основными этапами развития отечественной архитектуры, православные религиозные традиции с каноническими правилами церковного строительства, образно-стилевые решения отдельных построек с их декоративным оформлением. Архитектурная тема достаточно сложна. Именно поэтому рассказы объединены сюжетной канвой — паломническое путешествие автора со студенткой архитектурно-строительного факультета Олесей, — облегчающей восприятие предложенного текста.

Содержательная концепция продумана таким образом, что юный читатель может получить достаточно емкую информацию о различных типах культовых построек, о месте их расположения в городском, сельском и

пейзажном ландшафте, о методах и материалах строительства, о культурных функциях храмов и их мемориальных названиях. Специальные рассказы посвящены подлинным архитектурным жемчужинам, сохранившимся на мордовской земле, — ансамблям Иоанно-Богословского монастыря в с. Макаровка близ Саранска, Параскево-Вознесенского женского монастыря в с. Пайгарма рядом с Рузаевкой, Свято-Ольгинского женского монастыря в Инсаре, Спасо-Преображенского мужского монастыря под Краснослободском и легендарному Санаксарю, живописно расположенному на берегу Мокши в нескольких километрах от старинного Темникова. Важно подчеркнуть, что автор старается соотнести храм с конкретным географическим пространством, формируя у читателя представление об архитектурном сооружении в зависимости от его местонахождения. Как ученый-архитектуровед автор не упустил возможность обратить внимание на утраченные храмы и монастыри мордовского края. Однако, говоря о несохраненном наследии, он подчеркивает активный процесс нового культового строительства в нашей республике, знаковым событием которого стало возведение величественного Свято-Феодоровского собора в центре Саранска.

Поскольку книга адресована юному читателю, удачной авторской находкой выглядят два приложения: «Самые интересные храмы и монастыри Мордовии, которые необходимо посетить юным паломникам», обозначенные на карте республики специальными символами, и иллюстрированный словарик, облегчающий восприятие текста, неизбежно включающего специальные архитектурные термины.

Цельность книги подчеркивает и ее художественно-визуальная концепция, предложенная и воплощенная К. И. Шапкариным и В. Б. Махаевым. В книге не просто собраны и представлены в качестве иллюстративного материала множество храмов и монастырей Мордовии — они выстроены в зримый повествовательный ряд, обладающий таким же смыслосодержательным началом, как и текст. Кроме того, книга профессионально смакетирована и колористически оформлена. Цвет рефреном соединяет звучание многочисленных фотоматериалов с корректно подобранными постраничными фонами и акцентами на полях и в заголовках отдельных рассказов.

Стоит добавить, что книга издана по благословению архиепископа Саранского и Мордовского Варсонофия и является прекрасным подарком не только юным читателям, живущим в нашей республике, но и всем неравнодушным к истории малой родины.

ДОСТАТОЧНО ЛИ СЕМИ ДНЕЙ ДЛЯ СОТВОРЕНИЯ МИРА?

Б. М. Люпаев

Во все времена многих интересовал этот вопрос. Рассматривали разные варианты обоснования справедливости библейских писаний, которые мало опирались на физико-математические доказательства справедливости пророчеств. Внесем свою лепту в решение этой проблемы.

Достаточен ли семидневный срок для создания Вселенной?

С философской точки зрения, любая категория, в том числе продолжительность суток, должна исключать одностороннее ее толкование. В нашем случае сутки — это продлжительность принятого цикла. В качестве цикла может быть оборот Земли вокруг своей оси, вокруг Солнца, оборот в составе галактики и т. д. Космические сутки составляют 24 млрд лет. При космической трактовке этого понятия семи суток хватит для того, чтобы «проиграть все сюжеты» даже нашим современникам, а не то что Богу.

При любом строительстве, а тем более таком масштабном, возникают различные помехи, дефициты и другие ограничения физического плана. Такое ограничение предложено А. Эйнштейном:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \qquad (1)$$

где m_0 — масса тела при скорости $v = 0$; m — масса тела при скорости v; c — скорость света; v — скорость тела.

При $m_0 = \text{const}$ и $v = c$ масса тела равна:

$$m = m\text{З} / 0 = \text{З}\infty. \qquad (2)$$

Создание Вселенной возможно при $v < c$, но размещение тел с $m \to \infty$ потребует времени $t \to \infty$З поэтому сложно «упаковать» всю Вселенную в одну точку при завершении космических суток. При выполнении ограничения (1) построение безграничных миров встретит трудности.

Рассмотрим другое представление формулы (1):

$$\left(\frac{v}{c}\right)^2 + \left(\frac{m_0}{m}\right)^2 = 1. \qquad (3)$$

При скорости $v = c$ из (3) получаем

$$\left(\frac{m_0}{m}\right)^2 = 0. \qquad (4)$$

Уравнение (4) выполняется при $m_0 \to 0$ и $m \to \infty$ З а значит, и при других реальных соотношениях m_0 / ∞.

Уравнение (3) позволяет рассмотреть и случай, когда $v > c$, тогда

$$(v/c)^2 > 1. \qquad (5)$$

Уравнение (3) с учетом (5) будет выполняться, если

$$\left(\frac{v}{c}\right)^2 - \left(\frac{m_0}{m}\right)^2 = 1. \qquad (6)$$

Уравнение (1) с учетом (6) запишется:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{\left(\frac{v}{c}\right)^2 - 1}} \qquad (7)$$

При $m_0 = \text{const}$ vЗ$\to \infty$, $m \to 0$.

Из (7) можно сделать некоторые выводы.

При vЗ$\to \infty$ космос не будет иметь ограничений, связанных с массой тел, так как $m \to \infty$. Появляется возможность перехода любых масс в рассеянное состояние в виде универсального поля, а физические ограничения не препятствуют сотворению мироздания за семь «дней».

Полученные прогнозы зависят от констант.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алешкин А. С., профессор кафедры искусства интерьера архитектурно-строительного факультета Института национальной культуры МГУ им. Н. П. Огарева, член Союза художников Российской Федерации, лауреат Государственной премии Республики Мордовия, заслуженный художник Республики Мордовия.

Асташов А. М., кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной и компьютерной графики архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.

Афонин В. В., кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления МГУ им. Н. П. Огарева.

Балахно В. М., кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.

Белкина Н. В., старший преподаватель кафедры дизайна Института культуры и искусства при ВГПУ (Воронеж).

Бикбов Р. Х., кандидат технических наук, доцент Тюменского государственного архитектурно-строительного университета.

Бобрышев А. Н., член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, доктор технических наук, профессор кафедры технологии бетонов, керамики и вяжущих Пензенского государственного архитектурно-строительного университета.

Бобылев В. Н., член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, профессор, заведующий кафедрой архитектуры Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета.

Богатов А. Д., заместитель декана архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева по научной работе, кандидат технических наук, доцент.

Богатова С. Н., преподаватель кафедры экономики и управления в строительстве архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.

Борисова М. А., студентка III курса специальности «Архитектура» архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.

Вавилин В. В., старший преподаватель кафедры архитектуры архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.

Вавилин В. Ф., доктор исторических наук, профессор, заведующий кафедрой архитектуры архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.

Ветчинников М. Н., кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной и компьютерной графики архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.

Ворсина О. А., аспирант кафедры автомобильных дорог и специальных инженерных сооружений архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.

Галочкина Л. А., аспирант кафедры автомобильных дорог и специальных инженерных сооружений архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.

Денега Н. В., инженер ОАО «Дорпроект».

Дергунова А. В., старший преподаватель кафедры экономики и управления в строительстве архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.

Дудынов С. В., доктор технических наук, профессор кафедры автомобильных дорог и специальных инженерных сооружений архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.

Ерастов А. В., кандидат технических наук, преподаватель кафедры строительных материалов и технологий архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.

Ерастов В. В., кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.

Ерофеев В. Т., член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, декан архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева, доктор технических наук, профессор.

Ерофеев П. С., кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры геодезии, картографии и геоинформатики географического факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Завалищин Е. В., кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной и компьютерной графики архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Казначеев С. В., кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов и технологий архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Каснмкина М. М., ассистент кафедры строительных материалов и технологий архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Коломиец С. Н., доцент кафедры искусства интерьера архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Коровина О. Ю., аспирант кафедры строительных конструкций архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Коротаев С. А., кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Котельников Д. Н., аспирант Московской государственной академии коммунального хозяйства и строительства.
Кочнев С. В., доцент кафедры искусства интерьера архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Куприяшкина Л. И., кандидат технических наук, профессор кафедры строительных конструкций архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Ланкина Ю. А., кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры строительных конструкций архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Лаптев Г. А., кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и специальных инженерных сооружений архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Лахно А. В., кандидат технических наук, доцент кафедры технологии бетонов, керамики и вяжущих Пензенского государственного архитектурно-строительного университета.
Лукомаскин А. И., кандидат технических наук, доцент МГУ им. Н. П. Огарева.
Луконин А. Ю., инженер кафедры автомобильных дорог и специальных инженерных сооружений архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Лысова Н. Ю., кандидат философских наук, доцент кафедры культурологии Института национальной культуры МГУ им. Н. П. Огарева, член Союза художников Российской Федерации.
Люпаев Б. М., доктор технических наук, профессор кафедры автомобильных дорог и специальных инженерных сооружений архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Махаев В. Б., кандидат искусствоведения, профессор, заведующий кафедрой архитектурного проектирования и дизайна архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Меркулов А. И., кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Меркулов И. И., кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Митина Е. А., кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и специальных инженерных сооружений архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Моисеенко В. А., кандидат географических наук, доцент кафедры архитектурного проектирования и дизайна архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Морозов А. А., инженер ГОСУКС РМ.
Морозов Е. А., кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов и технологий архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Низина Т. А., доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Новичков П. И., кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.

Омельченко Е. А., аспирант Московской государственной академии коммунального хозяйства и строительства.
Ошкина Л. М., кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной и компьютерной графики архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Пенина О. В., аспирант кафедры механики деформированного твердого тела и прикладной информатики Саратовского государственного технического университета.
Петров В. В., действительный член Российской академии архитектуры и строительных наук, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механики деформированного твердого тела и прикладной информатики Саратовского государственного технического университета.
Пивкин П. Н., начальник ГОСУКС РМ.
Подшивалова К. С., кандидат технических наук, доцент кафедры технологии бетонов, керамики и вяжущих Пензенского государственного архитектурно-строительного университета.
Полетаев Ю. А., инженер кафедры автомобильных дорог и специальных инженерных сооружений архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Римшин В. И., доктор технических наук, профессор, декан факультета городского, дорожного строительства и хозяйства Московской государственной академии коммунального хозяйства и строительства.
Селяев В. П., член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, заведующий кафедрой строительных конструкций архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева, доктор технических наук, профессор.
Селяев П. В., старший преподаватель кафедры строительных конструкций архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Смирнов В. Ф., доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии растений Нижегородского государственного университета.
Смирнова О. Н., кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии растений Нижегородского государственного университета.
Сульдинский М. В., кандидат культурологии, старший преподаватель кафедры архитектурного проектирования и дизайна архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Сураева-Королева А. В., старший преподаватель кафедры экономики и управления в строительстве архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Сушков В. Ф., глава Администрации городского округа Саранск.
Тыщук Г. Ф., кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и специальных инженерных сооружений архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Федоров Д. Г., аспирант кафедры строительных материалов и технологий архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Федосейкин В. И., кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Цыганов В. В., кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры строительных конструкций архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Черушова Н. В., кандидат технических наук, заведующий кафедрой искусства интерьера архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Шипова Г. М., доцент кафедры инженерной и компьютерной графики архитектурно-строительного факультета МГУ им. Н. П. Огарева.
Шубин Л. И., аспирант НИИ строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук.
Щедрина С. В., старший преподаватель кафедры дизайна Института культуры и искусства при ВГПУ (Воронеж).

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК МОРДОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА» ОБЪЯВЛЯЕТ О НАБОРЕ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

К публикации принимаются статьи, хроники, рецензии, обзоры кандидатов и докторов наук, преподавателей университета, аспирантов и студентов V курса.

Материалы, выполненные в текстовом редакторе MS Word, предоставляются в редакцию в распечатанном и электронном вариантах. Поля: левое — 3 см, верхнее и нижнее — 2 см, правое — 1,5 см. Гарнитура — Times New Roman, кегль — 14, межстрочный интервал — 1,5. Объем статей — 6—12 страниц. Для хроник, рецензий, обзоров — до 6 страниц. Обязательна **аннотация** статьи.

Ссылки на литературу приводятся в квадратных скобках. Библиографический список сортируется по алфавиту и оформляется согласно требованиям ГОСТа 7.1—2003.

Рисунки должны быть в отдельных файлах, пронумерованы, с верными подписями, хорошего качества (размером не менее 600 × 600 пикселей). Таблицы также нумеруются и подписываются.

В авторской справке необходимо указать:

— фамилию, имя, отчество;

— должность;

— контактный телефон;

— адрес электронной почты.

Стоимость публикации — 10 рублей за 1 страницу формата А4.

Статьи, не отвечающие вышеуказанным требованиям, к публикации не принимаются. Редакция сохраняет за собой право отказать в публикации статьи с объяснением причин отказа.

Адрес редакции: 430005, г. Саранск, ул. Большевистская, 68, первый корпус МГУ им. Н. П. Огарева, комната 114.

Телефон: (8342) 24-25-18.

E-mail: vestnik_mrsu@mail.ru.

Шапкарин Константин Иванович — заместитель главного редактора.

E-mail: shapkarin@bk.ru.

Савойская Елена Владимировна — редактор.

Митькова Жанна Владимировна — ответственный секретарь.

Редактор *Е. В. Савойская*
Компьютерная верстка *Н. В. Широковой*
Обработка цветных иллюстраций *А. Г. Чинжевой*

Подписано в печать 23.04.09. Формат 70 × 100 $^{1}/_{16}$.
Усл. печ. л. 18,20.
Тираж 200 экз. Заказ № 591. Цена свободная.

Типография Издательства Мордовского университета
430000, Саранск, ул. Советская, 24

ISSN 0236—2910
ВЕСТ. МОРД. УН-ТА. 2008. № 4. С. 1—224